

スマートウォッチの傾きと筋電情報の組み合わせによるポインティング手法

黒澤紘生^{†1, a)} 坂本大介^{†1, b)} 小野哲雄^{†1, c)}

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。例えば、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。評価実験を行なった結果、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、従来のチルト操作と比べ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は知られる 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。

1. はじめに

日常生活の様々な場面で気軽に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、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。加えて、チルト操作の精度評価実験では実験参加者が静止している状態を条件としているものがほとんどであり、他の動作、例えば歩行動作

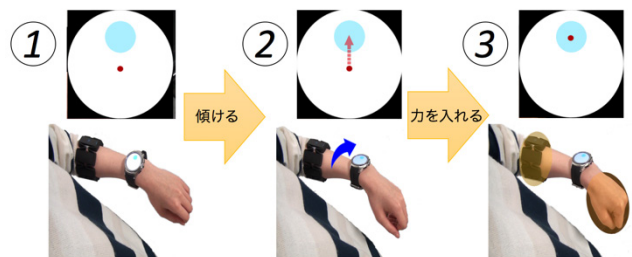


図 1 提案手法における操作イメージ

(1)定常状態 (2)本体を傾けて操作方向を決定する (3)腕に力を入れることで操作量を決定し、操作を実行する

などを行なっている場合のチルト操作に関しては十分に研究がなされていない。

そこで、本稿では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、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う。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なった。本稿ではこれらについて詳述する。

^{†1} 現在、北海道大学
Presently with Hokkaido University
a) k.hiroki@complex.ist.hokudai.ac.jp
b) sakamoto@ist.hokudai.ac.jp
c) tono@ist.hokudai.ac.jp

2. 関連研究

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[5]. オクルージョンの対策として, Dirk 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[6]. また, スマートウォッチを装着している腕全体をタッチ領域に拡張する SkinTrack[7]や, ユーザが息を吹きかけるジェスチャをすることによって操作を行う Blowatch[8], 腕を屈伸させる動作で片手入力を行う ProxiWatch[9]など, 本体の外から入力を行う手法も提案されている.

加えて, スマートウォッチは画面が小さいために細かい操作が困難となってしまう Fat Finger Problem の影響を大きく受け, 指による正確なタッチ操作が困難となる. 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[10]. 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[5]. 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出来ない時にテキスト入力する代替手段も存在する[11].

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[12]. 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, Kurt 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挙げられる[13]. 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 を同時に解決する優位な手法であると考えられる.

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し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出来れば解決出来ると考えられる. 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, 先行研究において, 実験参加者に着座姿勢または起立姿勢を維持させる条件を付与した評価実験は十分なされているため, 本研究の評価実験では静止時以外の条件も観察することとした.

3. 提案手法

提案手法では, 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決定する(図 1-2). 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. 操作方向を決定した後, 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). 例えば, ユーザがある方向にポインタ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. その後「ぐっ」と腕に力を入れることにより, その力に対応してポインタが移動する. 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 筋電情報による操作量の決定

Serendipity[14]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, ジェスチャを行なった際に発揮された筋力の値を取得することが出来れば, 「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出来ると考えられる. 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.

3.2 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[15]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出来る. 筋電の値は-128~127の 256 段階を 8ch 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[16]の方法にならい, スマートフォン(SONY XPERIA Z4, 端末サイズ:高さ 146mm × 幅 72mm × 厚さ 6.9mm, 画面サイズ:5.2 インチ, 解像度:1920px × 1080px) を, スマートウォッチ(LG Watch Urbane 2nd Edition, 端末サイズ:直径 44.5mm, 厚さ 14.2mm, 画面サイズ:1.38 インチ, 解像度 480px × 480px) 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).

3.3 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, 加速度センサからデバイ

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 節参照)を移動させる。筋電は、Myo から得られた源信号を 100Hz 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。閾値以下の筋電量では操作量は 0px となり、最大筋電量($127 \times 8 = 1016$)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 ヶ月、平均 83.7 ヶ月($SD=51.11$)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-b に示す。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された。従来手法として、画面を直接タッチする方法(以下、直接タッチ)、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(Shima[3]らの手法を参考に実装、以下、チルト操作)、これに、傾け動作と筋電センサの値を組み合わせてカーソルを動かす方法(以下、提案手法)を加えた 3 手法を行う。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[17]に従って、推奨されている 48dp(約

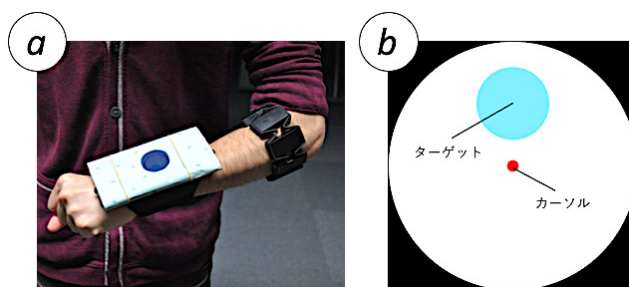


図 2 実験の様子(a)とスクリーンショット(b)

9.72mm)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×3 サイズ×20 試行×2 条件×10 名=3600 データ(タスクの成否、経過時間)を収集し、評価に用いる。

4.3 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)[18]をもとに、本実験用に微修正したアンケートを実施した。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 においては全ての条件で 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、他の全ての条件と手法の組み合わせで 90%以上の精度が確認され、提案手法では 98%以上の精度を維持出来た。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%以上の精度を達成出来た、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

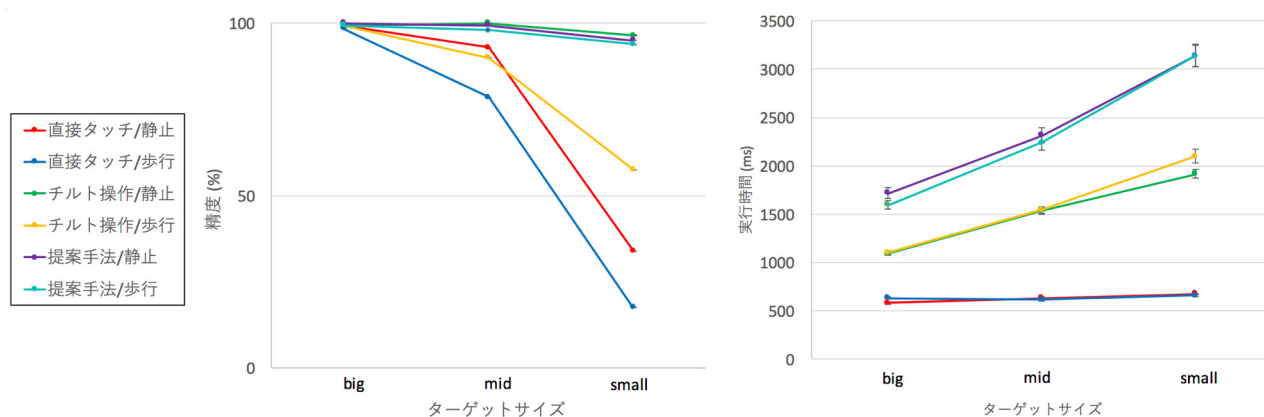


図 3 ポインティングタスクの平均精度(左)と平均完了時間(右)

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。

ターゲットサイズ×実験条件

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 2 要因分散分析(参加者内計画)を実施した。この分析は 3 つの操作手法ごとに実施した。その結果、操作手法がチルト操作の場合に交互作用が有意であった [$F(2,18)=36.67, p<.01$]。そこで、各要因の単純主効果を分析した結果、ターゲットサイズ×実験条件(静止) [$F(2,18)=4.56, p<.05$]、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(mid) [$F(1,9)=16.36, p<.01$]、実験条件×ターゲットサイズ(small) [$F(1,9)=43.60, p<.01$] について有意差が確認された。

実験条件×操作手法

実験条件と操作手法に注目して 2 要因分散分析(参加者内計画)を実施した。この分析は 3 つのターゲットサイズごとに実施した。その結果、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。

ターゲットサイズ×操作手法

ターゲットサイズと操作手法に注目して 2 要因分散分析(参加者内計画)を実施した。この分析は 2 つの実験条件ごとに実施した。その結果、静止条件 [$F(4,36)=55.57, p<.01$] と歩行条件 [$F(4,36)=24.34, p<.01$] 両水準において交互作用が有意であった。静止条件の結果について各要因の単純主効

果を分析した結果、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) [$F(2,18)=4.56, p<.05$]、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(mid) [$F(2,18)=10.49, p<.01$]、操作手法×ターゲットサイズ(small) [$F(2,18)=66.65, p<.01$] について有意な差が確認された。また、歩行条件の結果について各要因の単純主効果を分析した結果、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) [$F(2,18)=45.00, p<.01$]、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) [$F(2,18)=47.09, p<.01$] について有意な差が確認された。

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、実験条件と提案手法の間には有意差が確認できず、それ以外の水準との間には有意差が確認された。また、操作手法と両実験条件との間に有意差が確認され、これらから、提案手法は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、一定の精度を維持出来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。直接タッチでは全ての条件で実行時間が 200ms 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。

ターゲットサイズ×実験条件

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 2 要因分散分析(参加者内計画)を実施した。この分析は 3 つの操作手法ごとに実施した。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。直接タッチの結果について各要因の単純主効果を分析した結果、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, $p<.01$]について有意な差が確認された。チルト操作の結果について各要因の単純主効果を分析した結果、実験条件×ターゲットサイズ(mid)[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, $p<.01$]について有意な差が確認された。提案手法の結果について各要因の単純主効果を分析した結果、ターゲットサイズ×実験条件(静止)[F(2,18)=89.20, $p<.01$], 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, $p<.01$]について有意な差が確認された。

実験条件×操作手法

実験条件と操作手法に注目して 2 要因分散分析(参加者内計画)を実施した。この分析は 3 つのターゲットサイズごとに実施した。その結果、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, $p<.01$]。そこで、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)=5.48, $p<.05$], 実験条件(静止条件)×操作手法[F(2,18)=65.74, $p<.01$], 実験条件(歩行条件)×操作手法[F(2,18)=157.78, $p<.05$]について有意な差が確認された。

ターゲットサイズ×操作手法

ターゲットサイズと操作手法に注目して 2 要因分散分析(参加者内計画)を実施した。この分析は 2 つの実験条件ごとに実施した。その結果、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。静止条件の結果について各要因の単純主効果を分析した結果、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(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, $p<.01$], 操作手法×ターゲットサイズ(small)[F(2,18)=223.53, $p<.01$]について有意な差が確認された。また、歩行条件の結果について各要因の単純主効果を分析した結果、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, $p<.01$], 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, $p<.01$]について有意な差が確認された。

5.3 ユーザビリティ

SUS の結果を図 4 に示す。SUS は 5 段階のリッカート尺度の質問 10 項目で構成されているため、最終的に 100 点満点のスコアを求められる。その結果、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の間に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出来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($p<.01$)、Q5, Q6 の項目においても有意差が認められた($p<.05$)。これらの項目に対し Wilcoxon の符号付順位検定(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, Q8 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わかった。一方で、Q2, Q5 の項目では、直接タッチ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わかった。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操作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。

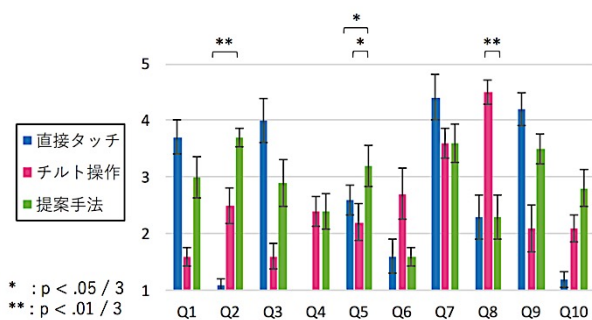


図 4 SUS の結果

6. 議論

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欲しい」、「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「微調整がうまく出来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一つの原因として挙げられる。そのため、ユーザが筋力を発揮した際の振る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。

7. 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方法の提案を行なった。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なった結果、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. In Proc. INTERACT '05, ACM, pp.267-280, 2005.
- [2] Jun Rekimoto. Tilting Operations for Small Screen Interfaces. In Proc. UIST '96, ACM, pp.167-168, 1996.
- [3] Keigo Shima, Kazusa Onishi, Ryosuke Takeda, Takuya Adachi, Buntarou Shizuki and Jiro Tanaka. Investigating Accuracy of Operation on Wrist-worn Devices with Touchscreens. In Proc CHI '16, ACM, pp.2705-2711, 2016.
- [4] Ke Sun, Yuntao Wang, Chun Yu, Yukang Yan, Hongyi Wen and Yuanchun Shi. Float: One-Handed and Touch-Free Target Selection on Smartwatches. In Proc. CHI '17, ACM, pp.692-704, 2017.
- [5] Haijun Xia, Tovi Grossman and George Fitzmaurice. NanoStylus: Enhancing Input on Ultra-Small Displays with a Finger-Mounted Stylus. In Proc. UIST '15, ACM, pp.447-456, 2015.
- [6] Dirk Wenig, Johannes Schoning, Alex Olwal, Mathias Oben and Rainer Malaka. WatchThru: Expanding Smartwatch Displays with Mid-air Visuals and Wrist-worn Augmented Reality. In Proc. CHI '17, ACM, pp.716-721, 2017.
- [7] Yang Zhang, Junhan Zhou, Gierad Laupt and Chris Harrison. SkinTrack: Using the Body as an Electrical Waveguide for Continuous Finger Tracking on the Skin. In Proc CHI '16, ACM, pp.1491-1503, 2016.
- [8] Wei-Hung Chen. Blowatch: Blowable and Hands-free Interaction for Smartwatches. In Proc. CHI '15, ACM, pp.103-108, 2015.
- [9] Florian Muller, Sebastian Gunther, Nillofar Dezfuli, Mohammadreza Khalilbeigi and Max Muhlhauser. ProxiWatch: Enhancing Smartwatch Interaction through Proximity-based Hand Input. In Proc. CHI '16, ACM, pp.2617-2624, 2016.
- [10] Yuki Kubo, Buntarou Shizuki and Shin Takahashi. Watch Commander: A Gesture-based Invocation System for Rectangular Smartwatches using B2B-Swipe. In Proc. UIST '16, ACM, pp.37-39, 2016.
- [11] Xin Yi, Chun Yu, Weijie Xu, Xiaojun Bi and Yuanchun Shi. COMPASS: Rotational Keyboard on Non-Touch Smartwatches. In Proc. CHI '17, ACM, pp.705-715, 2017.
- [12] Anhong Guo and Tim Paek. Exploring Tilt for No-Touch, Wrist-Only Interactions on Smartwatches. In Proc. MobileHCI '16, ACM, pp.17-28, 2016.
- [13] Kurt Partridge, Saurav Chatterjee and Roy Want. TiltType: Accelerometer-Suported Text Entry for Very Small Devices. In Proc. UIST '02, ACM, pp.201-204, 2002.
- [14] Hongyi Wen, Julian Ramos Rojas and Anind K. Dey. Serendipity: Finger Gesture Recognition using an Off-the-Shelf Smartwatch. In Proc. CHI '16, ACM, pp.3847-3851, 2016.
- [15] Labs, T.: Myo Store – Thalmic Labs. <https://store.myo.com/>, (参照 2017-12-01)
- [16] Hyunjae Gil, Do Young Lee, Seunggyu Im and Ian Oakley. TriTap: Identifying Finger Touches on Smartwatches. In Proc. CHI '17, ACM, pp.3879-3890, 2017.
- [17] Layout – Metrics & Keylines. <https://material.io/guidelines/layout/metrics-keylines.html>, (参照 2017-12-01)
- [18] John Brooke. SUS- A quick and dirty usability scale. Usability evaluation in industry, pp.189-194, 1996.