

# 腕に装着した超小型タッチパネル端末に対する傾け操作の精度評価

大西 主紗<sup>1,a)</sup> 高田 峻介<sup>1</sup> 島 佳吾<sup>1</sup> 阿達 拓也<sup>2</sup> 志築 文太郎<sup>3</sup> 田中 二郎<sup>3</sup>

**概要:** 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搭載した携帯情報端末が登場し、端末そのものに対する傾けを入力とする操作についての研究が数多くなされるようになった。傾け操作は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、手首用ウェアラブルデバイスの入力語彙拡張にも有用であると考えられる。本研究は、傾け操作を用いたスマートウォッチ用の GUI や操作方法の設計指針を探るため、スマートウォッチにおける傾け操作の精度を調査した。被験者実験として、傾け操作の方向及び角度に応じて移動するカーソルを用いたタスクを設計した。実験の結果、傾け操作の精度は x 軸, y 軸方向ともに片側 0.20° であった。

## 1. はじめに

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搭載した携帯情報端末が登場している。このため、様々な計算能力を備えたデバイス（以降、端末）に対する傾け操作、すなわち、端末そのものに対する傾けを入力とする操作についての研究が数多くなされるようになった。傾け操作は特に PDA など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 [15]、スマートウォッチやアクティビティトラッカーをはじめとした手首用ウェアラブルデバイスの入力語彙拡張にも有用であると考えられる [2, 13]。今回我々は、スマートウォッチに注目した。スマートウォッチはスマートフォンからの通知の表示や健康管理など様々な用途に使用することが可能である汎用デバイスであるためアクティビティトラッカーに対して操作量が多くなる。しかしスマートウォッチはその画面の小ささから、Fat Finger 問題 [17] や複数の指を用いた操作の困難さなど、入力における制限が存在するため、従来の画面の小さい端末同様傾け操作による入力語彙の拡張が有用である。また手首用ウェアラブルデバイスデバイス

においては、既存研究である手のジェスチャを用いた操作手法 [7, 12] と組み合わせることにより、アイテムの選択および決定や文字入力など、端末を装着した腕のみを用いて様々な操作が可能となると考えられる。

このように傾け操作には様々な有用性が考えられる一方で、傾け操作を設計するにはその指針が必要となる。フィーチャーフォンやスマートフォンに対しては、傾け操作性能評価が行われている [6, 14]。本稿においては、スマートウォッチにおける傾け操作の精度を調査する。すなわち、ユーザが端末をどの程度目的の角度に合わせられるかを調査する。この精度が明らかになれば、傾け操作を用いたスマートウォッチ用の GUI や操作方法の設計指針として役立つと考えられる。今回我々は調査のため、傾け操作の方向及び角度に応じて移動するカーソルを用いたタスクを設計し、このタスクを用いた被験者実験を行った。本稿においてはこれらを報告する。

## 2. 関連研究

本節においては、これまでに提案されてきた、傾け操作の適用例を示す。また、本研究と同様に傾け操作の性能を調査した研究を示す。

### 2.1 傾け操作の適用例

入力語彙を拡張するため、様々な端末に対する傾け操作が提案されてる。手首用ウェアラブルデバイスのような超小型の画面を持つ端末に対する入力語彙の拡張に傾け操作を用いた研究に Blowatch [2] や TiltType [13] が存在する。Blowatch はスマートウォッチに息を吹きかける動作をト

<sup>1</sup> 筑波大学大学院システム情報工学研究科コンピュータサイエンス専攻

Department of Computer Science, Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba

<sup>2</sup> 筑波大学情報学群情報メディア創成学類

College of Media, Arts, Science and Technology, School of Informatics, University of Tsukuba

<sup>3</sup> 筑波大学システム情報系

Faculty of Engineering, Information and Systems, University of Tsukuba

a) onishi@iplab.cs.tsukuba.ac.jp

リガとした操作手法である。ユーザが息を吹きかけたあとに傾け操作を行うことによって、カメラや地図のズームイン、アウトを実装している。TiltType は、腕時計型端末における傾け操作を用いた文字入力手法である。ユーザは傾け操作を用いて 8 方向+中央の計 9 種類の文字を選択して入力を行う。操作には両手を用いるため、文字入力を行う際は端末を手首から外して操作を行っている。

また携帯情報端末に対しても、傾け操作を用いて入力語彙を拡張する試みがなされている。Hinckley らは手のひらサイズの PC に複数のセンサを取り付け、端末の状態に応じて実行される機能を提案した [9]。携帯電話のように握った際にメモを記録する機能や持ち上げた際に自動で電源が入る機能と共に、端末を傾けることによってスクロールを行う機能の実装を行っている。Cho らは傾け操作を用いて PDA におけるフォトライブラリの閲覧手法を提案した [3]。ユーザは傾け操作によってアルバムのスクロールを行い、かつ、その傾きの大きさによって一度に画面に表示する画像の枚数の調節を行う。TiltText [19] は、フィーチャーフォンにおけるテキスト入力の際、端末の傾け操作を用いることによってボタンの押下回数を減らす手法である。被験者実験の結果、提案手法はタップを用いた文字入力よりも 23% 速いという結果が示されている。大西らは、フィーチャーフォン型の端末に対する傾け操作を用いることによって、Web ブラウジングの操作を拡張した [21]。ユーザは傾け操作を用いて画面に表示されている web ページの周辺領域やリンク先のプレビューを表示し、仮想的に端末画面の大きさを拡大することが可能である。Chang らは大画面スマートフォンの片手操作に傾け操作を用いている [1]。ユーザは傾け操作により画面の移動、画面の縮小、ドラッグにて移動するカーソルの出現を行うことができる。このように、小型の端末に対する傾け操作は様々な入力語彙の拡張に利用されている。

小型のデバイスに対する傾け操作が数多く提案されている一方で、大型の情報端末に対しても傾け操作を入力とする手法が提案されている。Tilting Table [11] はテーブルトップを傾けるインタラクションである。ユーザがテーブルトップを傾けると、傾斜の度合いに応じて映像および音声出力が変化する。この手法を用いたユーザフィードバック調査において被験者を観察した結果、ユーザが 1, 2 回画面を傾けただけでアプリケーションがどのように機能するかを把握する様子を観察し、傾けるインタラクションが直感的であることが示唆されたと結論付けている。Schmidt らはテーブルトップ及びスマートフォンを連携させた操作手法を提案している [16]。ユーザはスマートフォンを用いてテーブルトップをタッチし、スマートフォンに対する傾け操作によってスライダを操作している。このように大型の端末であっても、端末そのものやそれに付随する入力装置に対する傾け操作を用いて入力語彙を拡張することが可

能である。

## 2.2 傾け操作の性能調査

傾け操作に関して、様々な調査がなされている。Crossan らは手首を腕の軸方向に回転させる手法が、携帯情報端末向けのインタラクションにおいて十分な精度を持つかを調査した [5]。回転量に応じて携帯情報端末画面を 1 次元的に移動するカーソルを用いたポインティングタスクを通じて評価を行った結果をフィッツの法則にあてはめたところ、決定係数が 0.60 であるという結果を得た。Crossan らは頭を傾ける操作の評価を行った [4]。これはモバイル向けのインタラクションとして提案された操作であり、静止条件および歩行条件にて評価を行った。また、頭の傾けに応じてカーソルの位置を決定およびカーソルに対する加速度の決定の 2 種類について、ポインティングタスクを通じて比較を行った。結果、静止条件においては位置決定に用いる手法が、歩行条件においては加速度の決定に用いる手法が高いパフォーマンスを示した。Teather らはタブレット端末における傾け操作の評価を行っている [18]。端末の傾けに応じて、カーソルの位置を決定およびカーソルに対する加速度の決定の 2 種類についてポインティングタスクを通して比較を行った結果、位置決定に用いる手法が約 2 倍の速度であった。これらのように、ポインティングタスクを通じた傾け操作の評価が行われている。本研究もこれらに倣い、傾け操作に応じて位置が決定されるカーソルを用いて傾け操作の精度評価を行った。

また、直接傾け角度について評価を行った研究も存在する。Tilt Techniques [14] は手首を用いた傾け操作の精度を調査した研究である。フィーチャーフォンを手を持ち、x, y, z の 3 方向それぞれについて、解像度を測定した。結果、すべての軸方向に 16 段階の操作を行うことが可能であるという結果が得られている。Xin らはスタイラスに対する傾け操作の精度を評価している [20]。実験は 2 つ行い、実験 1 は指定された角度にペンを傾けてスペースキーを押下する補足タスク、実験 2 はある角度にペンを傾けスペースキーを押し、もうひとつのターゲットにペンを再び傾けてスペースキーを押下するポインティングタスクであった。実験 2 の結果をフィッツの法則にあてはめたところ、ともに決定係数 0.9 以上であった。本研究はスマートウォッチを調査対象とし、その傾け操作について調査する。

傾け操作の適用例に焦点を当てた評価を行っている研究も存在する。Fitchett らは iPod touch 上にて、傾け操作によるスクロールおよびフリックによるスクロールを比較する手法を提案している [6]。着座姿勢においては指を用いたスクロールよりも傾け操作を用いたスクロールの方が操作速度が速いという結果が得られている。Gilbertson らは、スマートフォン上の 3D ドライビングゲームを用いて、キー入力による操作と傾き入力による操作を比較する実験

を行った [8]。実験から、被験者が傾き入力をより楽しいと感じたという結果が示されている。

本研究は特定の操作ではなく傾け操作自体を評価する。

### 3. 実験設計

スマートウォッチに対する傾け操作の精度を調査するため、被験者実験を行った。

#### 3.1 被験者

被験者として大学生および大学院生 8 名（年齢 21 歳～24 歳，平均 22.5 歳）を雇用した。スマートフォンの利用暦は 0～71 ヶ月，平均 40.6 ヶ月であった。スマートウォッチを使用したことがある被験者は 0 人であった。全員が右利きであり，スマートウォッチを左手首に取り付け，右手によってタッチパネルに対する操作を行っていた。

#### 3.2 実験機器

実験には，スマートウォッチ（SONY SmartWatch 3 SWR50、端末サイズ：高さ 51mm×幅 36mm×厚さ 10 mm，画面サイズ：1.6 インチ，解像度：320×320px，OS：Android Wear 1.1.1）を用いた。

#### 3.3 実験用ソフトウェア

ポインティングタスクを通して傾け操作の精度を調査するため，傾け操作の方向及び角度に応じて移動するカーソルを実装した。図 1 にスマートウォッチを  $\theta$  傾けた際のカーソルの移動を示す。カーソルの移動量は  $cd\_ratio \times \sin \theta$  によって求まるため，傾きを大きくするほどカーソルが大きく移動する。すなわち，x 軸方向に  $\theta_x$ ，y 軸方向に  $\theta_y$  傾け操作を行った場合のカーソルの位置は  $(x, y) = (160 + cd\_ratio \times \sin \theta_x, 160 + cd\_ratio \times \sin \theta_y)$  となる。実験を行う際には， $cd\_ratio$  が 1700, 2300, 3000 のカーソルを用いた予備実験を行い，その結果から  $cd\_ratio$  を 2300 に設定した。実験に用いたスマートウォッチの画面サイズは  $320px \times 320px$  であるため，各方向  $3.99^\circ (= \arcsin(160/2300))$  以内の全画面領域のポインティングが可能となる。また，この傾きの基準角度 ( $\theta = 0^\circ$ ) はタスクの開始時点での画面の角度である。

#### 3.4 タスク

被験者には，スマートウォッチ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。実験時のスマートウォッチの画面を図 2 に示す。被験者にはまず，図 2a に示す待機画面が表示されている間にスマートウォッチの画面を自然に視認できる姿勢をとってもらった。この時の画面の角度を基準角度として記録し，スマートウォッチに図 2b に示す準備画面を表示した。タスクは，被験者が準備画面をタップすることによって開始された。タスク中の画面

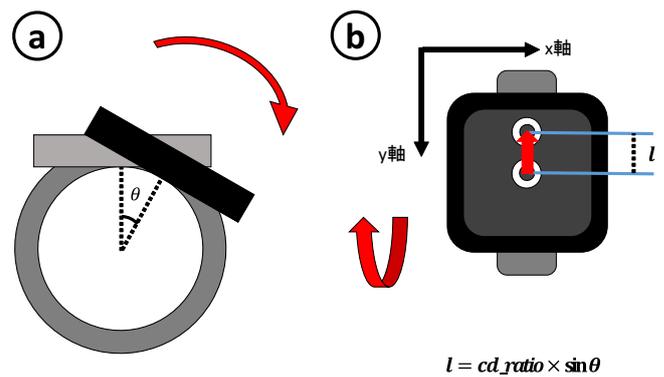


図 1 (a) スマートウォッチの傾きおよび (b) カーソル移動量の関係。



図 2 実験時のスマートウォッチの画面。(a) 待機画面。(b) 準備画面。(c) タスク画面。

を図 2c に示す。画面中の「x」がカーソル，「o」がターゲットである。

被験者は傾け操作を用いてカーソルをターゲットに移動させ，カーソルをターゲットに重ねた状態にて画面の任意の位置をタップしてもらった。この 1 回のタップを 1 試行とした。この時被験者には，時間よりも精度を優先する，すなわち可能な限りカーソルとターゲットを一致させるよう教示を行った。ターゲットは一度タップを行うごとに，画面内のランダムな位置に再表示された。25 回試行を 1 セッションとし，被験者には，椅子に座った着座姿勢および，立った状態の起立姿勢の計 2 姿勢にてタスクを行ってもらった。これらの姿勢において，被験者は左腕を宙に浮かせた状態にてタスクを行った。それぞれの姿勢を図 3 に示す。被験者にはそれぞれの姿勢にて，練習 2 セッションおよび本番 4 セッションの計 6 セッションを行ってもらったため，被験者は合計 300 回の試行 ( $25 \times 2 \times 6$ ) を行った。

被験者には全セッション終了後，使用感についてのアンケートに回答してもらった。実験およびアンケートの回答を合わせて被験者 1 人当たりの実験時間は合計で約 1 時間であり，拘束時間に対する謝礼として 1 人当たり 820 円が支払われた。

### 4. 実験結果

実験結果を示す。結果には本番 4 セッション分のデータ 1600 試行分を用いた。なお，タッチ位置に関して（平均

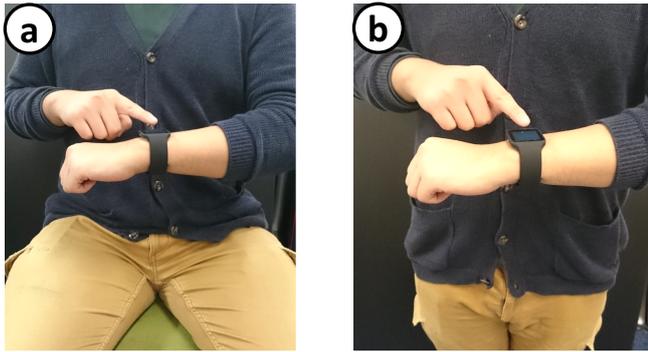


図 3 実験姿勢。(a) 着座姿勢。(b) 起立姿勢。

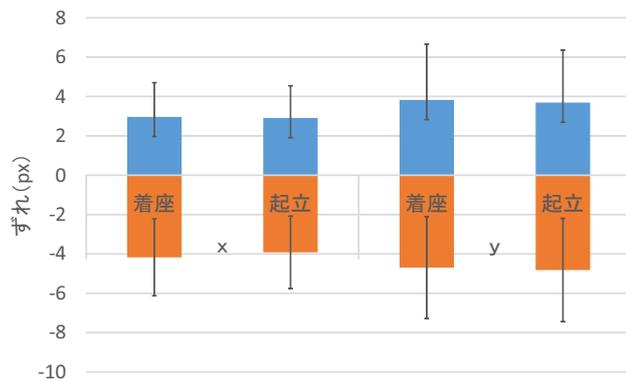


図 4 ターゲットからのずれ。

$\pm 3 \times$  標準偏差) の範囲を外れる 37 試行を外れ値として除外した。これは実験中、誤ってタッチパネルをタッチしてしまい、意図しない場所に対してポインティングを行った被験者がいたためである。

#### 4.1 ターゲットからのずれ

ターゲットの中心座標を (0,0) とした場合の、各姿勢条件における x 軸方向および y 軸方向に対するターゲットからのずれを図 4 に示す。x 軸方向のずれは、着座姿勢においては  $+2.96px$  および  $-4.17px$ 、起立姿勢においては  $+2.91px$  および  $-3.92px$  であった。また、y 軸方向のずれは、着座姿勢においては  $+3.83px$  および  $-4.70px$ 、起立姿勢においては  $+3.83px$  および  $-4.82px$  であった。

ずれの単位を  $px$  から度数法に変換した結果を図 5 に示す。x 軸方向のずれは、着座姿勢においては  $+0.07^\circ$  および  $-0.10^\circ$ 、起立姿勢においては  $+0.07^\circ$  および  $-0.10^\circ$  であった。また、y 軸方向のずれは、着座姿勢においては  $+0.10^\circ$  および  $-0.12^\circ$ 、起立姿勢においては  $+0.09^\circ$  および  $-0.12^\circ$  であった。外側の分散を含めても、ターゲットからのずれは両姿勢条件において両軸両方向に対して  $\pm 0.20^\circ$  の範囲であった。すなわち、傾け操作の精度は  $0.40^\circ$  であるという結果が得られた。

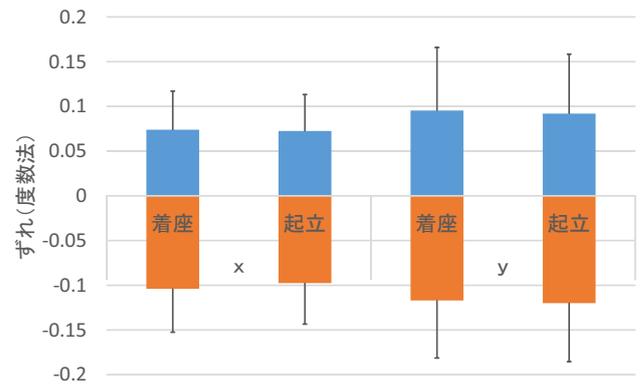


図 5 ターゲットからのずれの角度。

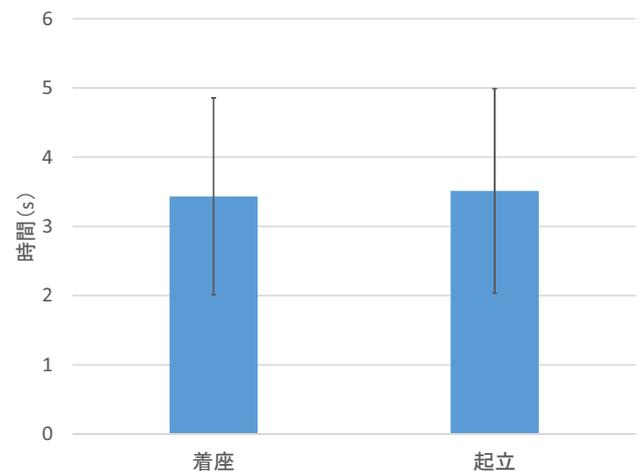


図 6 1 試行当たりの所要時間。

#### 4.2 所要時間

1 試行の所要時間を図 6 に示す。着座姿勢の所要時間は  $3.43s$ 、起立姿勢の所要時間は  $3.51s$  であった。

### 5. 考察

#### 5.1 タップ時におけるカーソル位置の分布

ターゲットの中心に対するカーソル位置の分布を図 8 に示す。また、それぞれの楕円の大きさとなる標準偏差を表 1, 2 に示す。表 1, 2 より、ポインティング位置は長辺が y 軸方向となる楕円型に分布するという結果が得られた。これはすなわち、y 軸方向よりも x 軸方向の方が傾け操作の精度が高いことを示している。P8 は実験後のアンケートにて、y 軸方向への腕の傾け操作、すなわち手首の軸方向の回転は正方向および負方向にて非対称な操作であると述べ、y 軸方向への操作の困難さについて言及していた。

また図 8 より、径が  $1 \times \sigma$  によって表される楕円内のポインティング位置の分布密度が高いことが確認された一方、径が  $3 \times \sigma$  によって表される楕円外にも分布が見られた。楕円外の分布について確かめるため、各被験者ごとのターゲットの中心に対するポインティング位置の分布を調査した。結果を図 7 に示す。P1, P3 においては、の分布半径

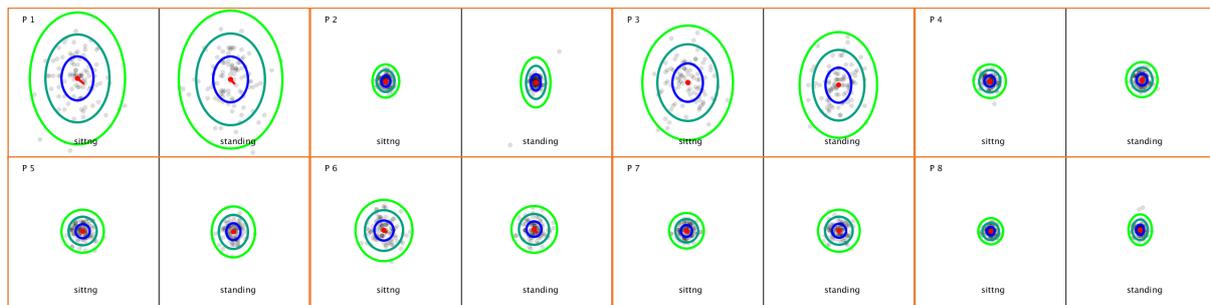


図 7 被験者ごとのターゲットの中心に対するカーソル位置の分布.

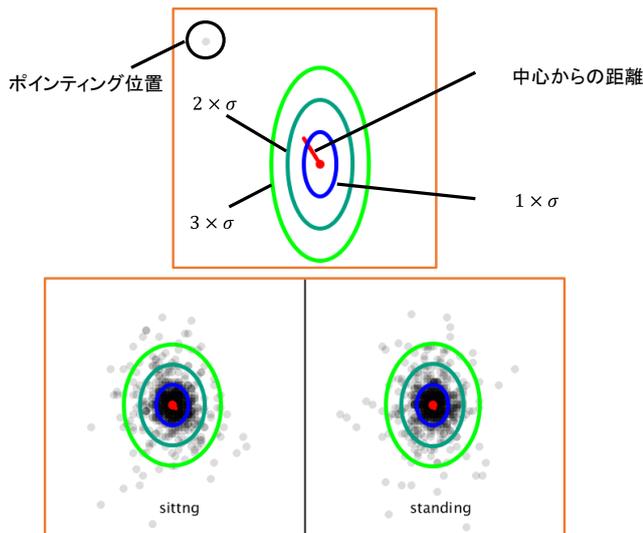


図 8 ターゲットの中心に対するポインティング位置の分布.

表 1 着座姿勢における標準偏差表 2 起立姿勢における標準偏差

被験者	x 軸	y 軸	被験者	x 軸	y 軸
All	5.00	6.23	All	4.85	6.35
P1	8.45	11.75	P1	9.16	12.30
P2	2.37	2.96	P2	2.64	4.44
P3	8.05	10.23	P3	6.88	9.42
P4	2.85	3.01	P4	2.81	3.16
P5	3.74	3.81	P5	3.82	4.54
P6	5.05	5.44	P6	4.03	4.15
P7	3.07	3.16	P7	3.70	3.74
P8	2.23	2.32	P8	2.07	2.78

がほかの被験者に比べて大きくなっていることが確認された。これは、今回行った実験における「可能な限りカーソルとターゲットを一致させる」という教示が被験者の主観に基づくものであったため、被験者によって差が出たためだと考えられる。被験者ごとの所要時間を図 9 に示す。どちらの姿勢条件においても P1 および P3 の所要時間がほかの被験者に比べ短いため、より時間をかけることによってほかの被験者と同等の分布になる可能性がある。

### 5.2 ターゲット位置によるずれの変化

ターゲットの位置および傾け操作の精度の関係を調査した。結果を図 10~13 に示す。これらの散布図に対して指

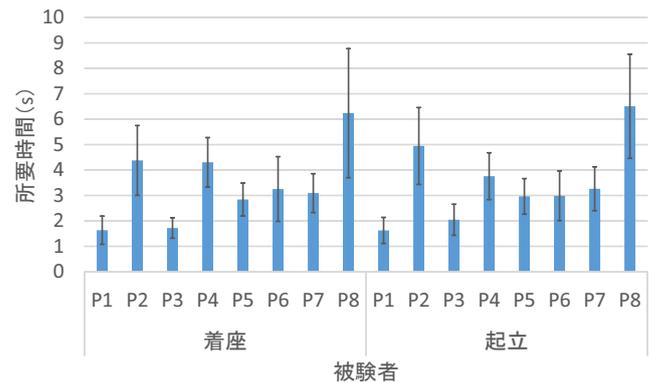


図 9 被験者ごとの所要時間.

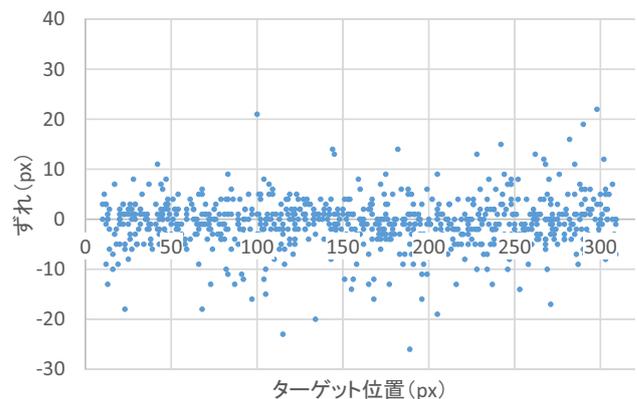


図 10 着座条件における x 軸方向のターゲット位置によるずれ.

数, 対数, 2 次から 6 次の多項式, 累乗の 8 種類の関数を用いて近似曲線を作成し, 決定計数を調査した. 結果, すべての近似曲線に対して決定計数  $R^2 < 0.100$  を示したため, 傾け操作は各軸方向  $\pm 3.99^\circ$  の範囲にて一様な精度であることが分かった.

### 5.3 学習効果による精度の変化

慣れによる精度の向上を調査するため, 4 回のセッションそれぞれにおけるずれを求めた. 結果を図 14, 15 に示す. 着座条件においては, x 軸方向および y 軸方向ともに決定計数  $R^2 > 0.04$  にて増加傾向を示しており, 精度悪化が確認された. 一方で起立姿勢においては, x 軸方向については傾向が示されなかったが, y 軸方向については決

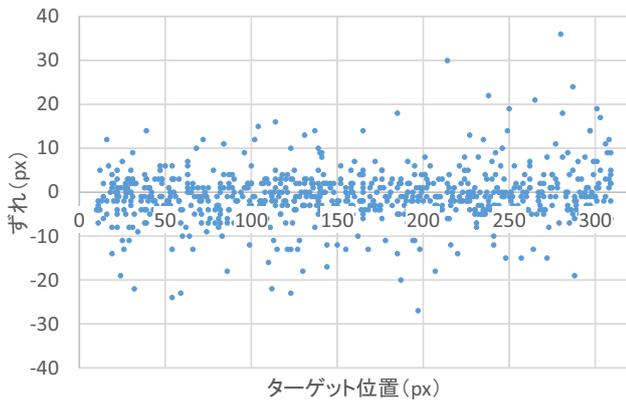


図 11 着座条件における y 軸方向のターゲット位置によるずれ。

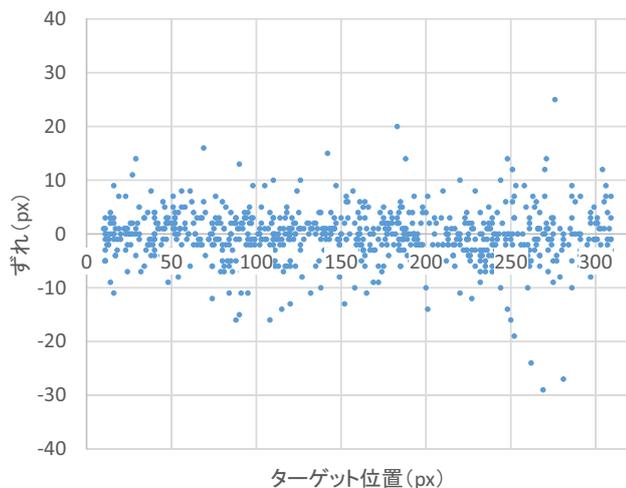


図 12 起立条件における x 軸方向のターゲット位置によるずれ。

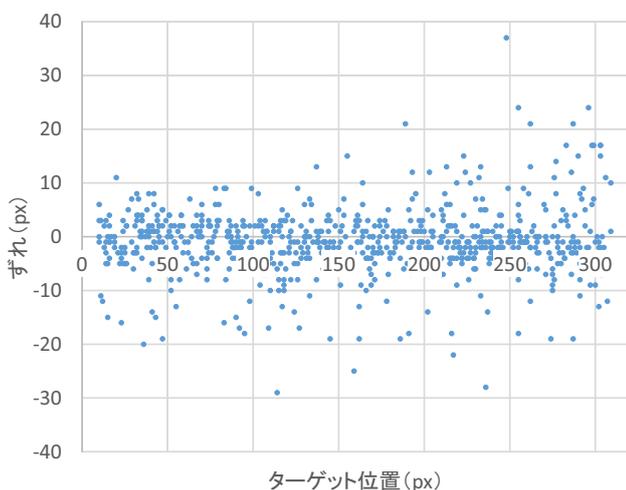


図 13 起立条件における y 軸方向のターゲット位置によるずれ。

定計数  $R^2 > 0.80$  という強い相関にて減少傾向を示しており、精度向上が確認された。実験後のアンケートにて起立姿勢および着座姿勢のどちらが好まれたかを調査したところ、5 名が着座姿勢を好み、1 名が起立姿勢を好んだ。2 名はどちらの姿勢にも差異はないと回答した。このことから、直観的に困難だと感じる起立姿勢に関しては学習によ

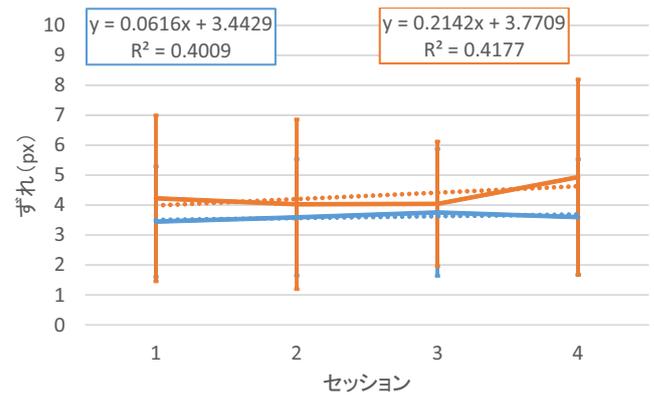


図 14 着座条件におけるセッション毎のずれの距離。

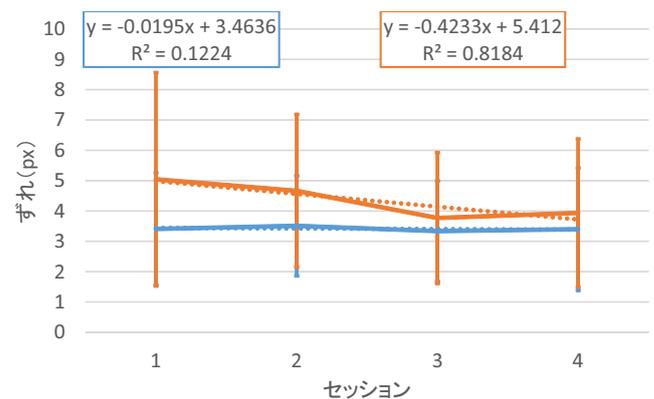


図 15 起立条件におけるセッション毎のずれの距離。

る精度向上が強く表れ、一方で直観的に安定していると感じた着座姿勢に関しては疲労による精度悪化が強く表れたのだと考えられる。これは、被験者がスマートウォッチ操作に未習熟であったため、より学習の影響が顕著に出ている可能性がある。

#### 5.4 ターゲットまでの距離による所要時間の変化

ターゲットまでの距離および傾け操作の所要時間の関係を調査した。結果を図 16, 17 に示す。これらの散布図に対して指数, 対数, 2 次から 6 次の多項式, 累乗の 8 種類の関数を用いて近似曲線を作成し、決定計数を調査した。結果、すべての近似曲線に対して決定計数  $R^2 < 0.100$  を示したため、傾け操作は各軸方向  $\pm 3.99^\circ$  の範囲にて一様な所要時間であることが分かった。

## 6. 議論

実験終了後、8 名の被験者にスマートウォッチの操作について調査した。内容は、「スマートウォッチに対して傾け操作を行う場合、各軸方向にどの程度傾けを許容できるか。肉体的にも、画面の角度的にも許容できる範囲を教えてください。」というものだった。実際に被験者に腕を各軸方向に傾けてもらい、その角度を記録した。結果を図 18 に示す。x 軸方向に関しては、着座姿勢において

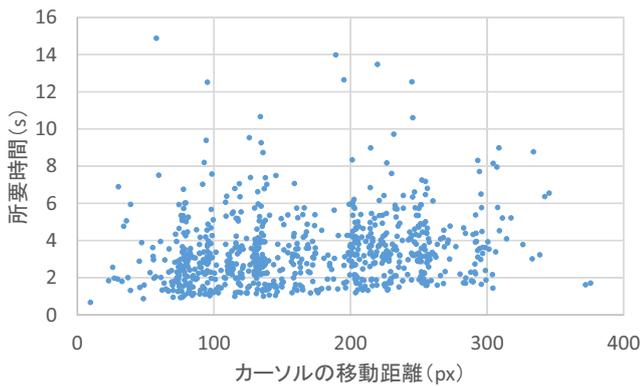


図 16 着座条件におけるターゲットまでの距離による所要時間。

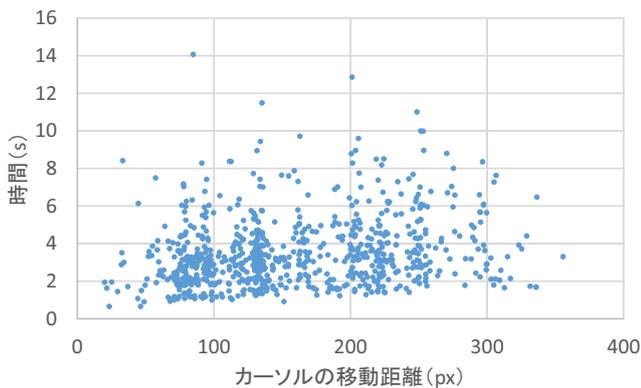


図 17 起立条件におけるターゲットまでの距離による所要時間。

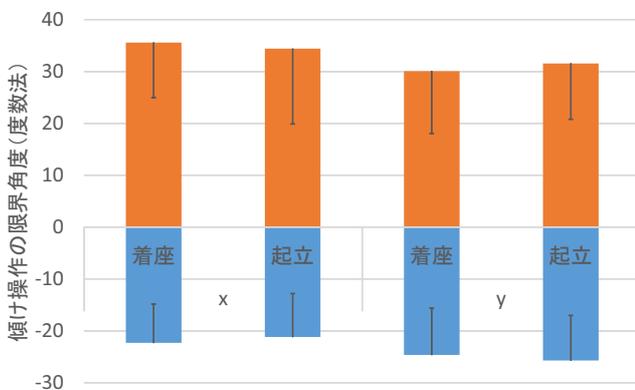


図 18 各軸方向の傾け操作の限界角度。

は  $+35.60^\circ$  および  $-22.30^\circ$ ，起立姿勢においては  $+34.41^\circ$  および  $-21.17^\circ$  であった。また，y 軸方向に関しては，着座姿勢においては  $+30.08^\circ$  および  $-24.62^\circ$ ，起立姿勢においては  $+31.56^\circ$  および  $-25.69^\circ$  であった。内側の分散を除外すると，x 軸方向の操作角度は両方向を合計すると最小  $32.68^\circ$ ，y 軸方向の操作角度は両方向を合計すると最小  $33.69^\circ$  という結果が得られた。また傾け操作の精度評価実験から，各軸方向  $7.98^\circ$  の範囲にて， $0.40^\circ$  の精度を持つという結果が得られた。本節においては，これらの結果から示唆された知見を述べる。

## 6.1 最適な分割数

実験結果から得られた精度から，x 軸 y 軸方向ともに  $7.98^\circ$  の範囲においては操作を  $(7.98/0.40) \times (7.98/0.40) > 399$  分割することが可能であるという結果が示唆された。すなわち，先行研究 [15] のように傾け操作をアイテム選択に用いた場合，最大 400 個のアイテムの中から選択を行うことが可能であり，指によるタップを用いた選択よりも高精度にて選択を行うことが可能であると考えられる。しかし，この分割数は操作可能である最大数であり，また，その操作には  $3.0s$  以上の時間を要する。ペンデバイスの傾け操作について調査した先行研究 [20] においては，分割数を減らすことによって所要時間が減少するという結果を得ているため，スマートウォッチにおける傾け操作も分割数を減らすことによって所要時間が減少する可能性がある。

## 6.2 傾け操作の適用例

得られた結果をもとに，傾け操作の適用例について考察する。6.1 節にて述べたように，400 個のアイテムに対する選択操作としての可能性が示唆されている。しかし，スマートウォッチの画面は小さいため，400 個のファイルを同時に表示することは現実的ではない。スマートウォッチ標準のメニューリストも，ドラッグ操作にてスクロールを行いタップにて選択を行うよう設計がなされている。従って，傾け操作の適用例としては以下の 2 種類が考えられる。

1 つ目は，画面に表示できる程度の数のターゲットの選択を行う操作である。例えばスマートウォッチ画面に qwerty キーボードを表示し，傾け操作を用いてキーを選択することによって文字入力を行う操作がこれに該当する。指を用いたタップにて文字入力を行う場合には Fat Finger 問題により入力が困難であるが，傾け操作は精度が高く，また指にて画面を遮蔽することがない。qwerty キーボードは縦方向の分割が横方向の分割に比べて少ないため，実験結果によって確認された傾け操作の特性にも合致している。

2 つ目は，傾け操作にアイテム選択およびスクロールの 2 つの機能を割り当てる操作である。従来の指を用いた操作は，メニューリストをスクロールすることによってターゲットを画面に表示し，タップによって選択を行う。我々は実験後の調査にて，傾け操作として用いることのできる限界角度は実験に用いた角度よりも大きいことを確認した。従って，実験に用いた範囲の角度を用いてアイテムの選択，それよりも外側の角度の傾け操作を用いて画面のスクロールを割り当てることによって，従来の指を用いた操作と同様にアイテムの選択が可能となる。

## 7. まとめ

傾け操作を用いたスマートウォッチ用の GUI や操作方法の設計指針を探るため，スマートウォッチにおける傾け操作の精度を調査した。実験は傾けに応じて位置の決定され

るカーソルを用いた。結果、x軸方向には、着座姿勢において $+0.07^\circ$  および $-0.10^\circ$ 、起立姿勢においては $+0.07^\circ$  および $-0.10^\circ$ の精度にて操作が可能であるという結果が得られた。また、y軸方向には、着座姿勢においては $+0.10^\circ$  および $-0.12^\circ$ 、起立姿勢においては $+0.09^\circ$  および $-0.12^\circ$ の精度にて操作可能であるという結果が得られた。またこれらの結果より、傾け操作は各軸方向に $0.40^\circ$ の分解能があるという結果を得た。また、実験後の調査にて、x軸、y軸方向の操作角度は $32.68^\circ$  および $33.69^\circ$ であるという結果が得られ、実験に用いた操作角度の数倍の角度にて傾け操作を行うことが可能であることが判明した。

今後は実験から得られた知見をもとに、実際の傾け操作の設計を行う。今回得られた精度から、傾け操作の分割数について調査するとともに、スマートウォッチを装着した手を用いた操作を組み合わせることによる片手操作について検討を行う。また、MYO [10]などの筋電位を測定可能なデバイスを用いて手首用ウェアラブルデバイスを装着した手のジェスチャを傾け操作に併用する手法を検討する。

#### 参考文献

- [1] Chang, Y., L'Yi, S., Koh, K. and Seo, J.: Understanding Users' Touch Behavior on Large Mobile Touch-Screens and Assisted Targeting by Tilting Gesture, CHI '15, ACM, pp. 1499–1508 (online), DOI: 10.1145/2702123.2702425 (2015).
- [2] Chen, W.-H.: Blowatch: Blowable and Hands-free Interaction for Smartwatches, CHI EA '15, ACM, pp. 103–108 (online), DOI: 10.1145/2702613.2726961 (2015).
- [3] Cho, S.-J., Murray-Smith, R. and Kim, Y.-B.: Multi-context Photo Browsing on Mobile Devices Based on Tilt Dynamics, MobileHCI '07, ACM, pp. 190–197 (online), DOI: 10.1145/1377999.1378006 (2007).
- [4] Crossan, A., McGill, M., Brewster, S. and Murray-Smith, R.: Head Tilting for Interaction in Mobile Contexts, MobileHCI '09, ACM, pp. 6:1–6:10 (online), DOI: 10.1145/1613858.1613866 (2009).
- [5] Crossan, A., Williamson, J., Brewster, S. and Murray-Smith, R.: Wrist Rotation for Interaction in Mobile Contexts, MobileHCI '08, ACM, pp. 435–438 (online), DOI: 10.1145/1409240.1409307 (2008).
- [6] Fitchett, S. and Cockburn, A.: Evaluating Reading and Analysis Tasks on Mobile Devices: A Case Study of Tilt and Flick Scrolling, OZCHI '09, ACM, pp. 225–232 (online), DOI: 10.1145/1738826.1738863 (2009).
- [7] Fukui, R., Watanabe, M., Shimosaka, M. and Sato, T.: Hand Shape Classification in Various Pronation Angles using a Wearable Wrist Contour Sensor, Vol. 29, No. 1, Taylor & Francis, pp. 3–11 (2015).
- [8] Gilbertson, P., Coulton, P., Chehimi, F. and Vajk, T.: Using “Tilt” As an Interface to Control “No-button” 3-D Mobile Games, *Comput. Entertain.*, Vol. 6, No. 3, pp. 1–13 (online), DOI: 10.1145/1394021.1394031 (2008).
- [9] Hinckley, K., Pierce, J., Sinclair, M. and Horvitz, E.: Sensing Techniques for Mobile Interaction, UIST '00, ACM, pp. 91–100 (online), DOI: 10.1145/354401.354417 (2000).
- [10] Labs, T.: Myo Store - Thalmic Labs, <https://store.myo.com/>.
- [11] Lee, H.-J., Khandelwal, M. and Mazalek, A.: Tilting Table: A Movable Screen, TEI '07, ACM, pp. 93–96 (online), DOI: 10.1145/1226969.1226988 (2007).
- [12] Ortega-Avila, S., Rakova, B., Sadi, S. and Mistry, P.: Non-invasive Optical Detection of Hand Gestures, ACM, pp. 179–180 (online), DOI: 10.1145/2735711.2735801 (2015).
- [13] Partridge, K., Chatterjee, S., Sazawal, V., Borriello, G. and Want, R.: TiltType: Accelerometer-supported Text Entry for Very Small Devices, UIST '02, ACM, pp. 201–204 (online), DOI: 10.1145/571985.572013 (2002).
- [14] Rahman, M., Gustafson, S., Irani, P. and Subramanian, S.: Tilt Techniques: Investigating the Dexterity of Wrist-based Input, CHI '09, ACM, pp. 1943–1952 (online), DOI: 10.1145/1518701.1518997 (2009).
- [15] Rekimoto, J.: Tilting Operations for Small Screen Interfaces, UIST '96, ACM, pp. 167–168 (online), DOI: 10.1145/237091.237115 (1996).
- [16] Schmidt, D., Seifert, J., Rukzio, E. and Gellersen, H.: A Cross-device Interaction Style for Mobiles and Surfaces, DIS '12, ACM, pp. 318–327 (online), DOI: 10.1145/2317956.2318005 (2012).
- [17] Siek, K. A., Rogers, Y. and Connelly, K. H.: Fat Finger Worries: How Older and Younger Users Physically Interact with PDAs, pp. 267–280 (2005).
- [18] Teather, R. J. and MacKenzie, I. S.: Position vs. Velocity Control for Tilt-based Interaction, GI '14, Canadian Information Processing Society, pp. 51–58 (online), available from (<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2619648.2619658>) (2014).
- [19] Wigdor, D. and Balakrishnan, R.: TiltText: Using Tilt for Text Input to Mobile Phones, UIST '03, ACM, pp. 81–90 (online), DOI: 10.1145/964696.964705 (2003).
- [20] Xin, Y., Bi, X. and Ren, X.: Acquiring and Pointing: An Empirical Study of Pen-tilt-based Interaction, CHI '11, ACM, pp. 849–858 (online), DOI: 10.1145/1978942.1979066 (2011).
- [21] 大西健史, 荒瀬由紀, 原 隆浩, 上向俊晃, 西尾章治郎: 携帯電話ユーザのための加速度センサを用いた Web 閲覧システム, DEWS '07, 電子情報通信学会データ工学研究専門委員会 (2007).