

Thenar-First: 母指球による押し込みを開始符号としたジェスチャ操作

高倉 礼^{1,a)} 鈴木 健介^{2,b)} 志築 文太郎^{3,c)}

概要: タッチパッドにおける親指を用いた入力 of 語彙を拡張するジェスチャ操作である Thenar-First を示す。Thenar-First はユーザの母指球によるタッチパッドへの押し込みを開始符号として利用する。そのため、ユーザはキーボードのホームポジションに指を置いたまま Thenar-First を実行できる。これにより、ユーザは文字入力、ポインティング、ショートカット入力、カーソル移動、スクロール、およびズームの全てをキーボードのホームポジションから指を離すことなく途切れずに実行できる。本稿では、Thenar-First にて実行できる入力を示すとともに、Thenar-First を実際の作業場面においてどのように使用するかの具体例を述べる。

1. はじめに

ラップトップコンピュータのポインティングデバイスには、主にキーボードの下側に配置されているタッチパッドが用いられる。タッチパッドによる操作では、ポインティングだけでなく、複数本の指を用いることによりスクロールおよびズームなどの多様な入力も実行できる。しかし、キーボードのホームポジションに指を置いたままタッチパッドを操作する場合、タッチパッドの操作に使用できるのは親指のみであり、その状態では親指の可動域が制限されるため、本来タッチパッドが有する多様な入力を実行できない。したがって、多くのユーザはタッチパッドを使用するときにホームポジションから指を離した状態でタッチパッドを操作する。ただし、この操作では、文字入力とポインティングが頻繁に交代する作業を行う場合に作業効率へ悪い影響があると考えられる。

一方で、テキストエディタ、表計算ソフト、ウェブブラウジングにおいて、ユーザはポインティングの代わりにカーソルキー操作によるカーソル移動およびキーボードショートカットを用いることにより、作業効率の向上を期待できる。しかし、キーボード上においてカーソルキーはホームポジションから離れた場所に配置されることが多く、また多くのキーボードショートカットはホームポジションから



図 1 Thenar-First の操作手順。図右側はシステムの表示画面であり、タッチ点が赤い円として描画される。1) キーボードのホームポジションへ指をおいた状態（白枠線はタッチパッドの領域を表す）。2) 母指球をタッチパッドへ押し込むことにより、ジェスチャ入力の待機状態となる。3) 親指または母指球を動かすことにより特定の処理が実行される。

指を離して操作する必要がある。

我々は、タッチパッドにおける親指を用いた入力の語彙を拡張するジェスチャ操作である Thenar-First を考案した（図 1）。Thenar-First はユーザの母指球（親指の付け根にあるふくらみ）によるタッチパッドへの押し込みを開始符号として利用する。そのため、ユーザはキーボードのホームポジションに指を置いたまま Thenar-First を実行

¹ 筑波大学 情報理工学位プログラム

² 筑波大学 情報科学類

³ 筑波大学 システム情報系

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

b) ksuzuki@iplab.cs.tsukuba.ac.jp

c) shizuki@cs.tsukuba.ac.jp

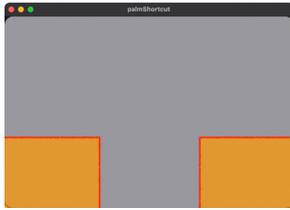


図 2 母指球によるタッチと識別する範囲。試作システムでは、ユーザの橙色にて示した範囲（左右両端下 30%の領域）へのタッチを、母指球によるタッチと判定する。

できる。また Thenar-First は、母指球によるタッチパッドへの押し込みを行わなければ、タッチパッドのポインティングデバイスとしての機能をそのまま利用でき、かつタッチパッド用に開発された入力手法（例えば、ScraTouch [1] およびホットコーナー*1など）と併用できる。

本稿では、Thenar-First によりジェスチャ操作を行う手順を示した後、Thenar-First を用いた予備実験について述べる。その後、実験参加者より得られたコメントから Thenar-First の今後の課題を示す。

本稿における貢献を以下に示す。

- 母指球によるタッチパッドへの押し込みを開始符号とする、親指および母指球を用いた一連のジェスチャ操作である Thenar-First を示した。
- Thenar-First の使用例を示すとともに、その使用例においてユーザがホームポジションから指を離すことなく Thenar-First を実行できることを示した。

2. Thenar-First

Thenar-First は母指球によるタッチパッドへの押し込みを開始符号として、その後に親指または母指球を動かすことにより、ショートカット入力、カーソル移動、スクロールおよびズームを実行できるジェスチャ操作である。そのため、ユーザはホームポジションから指を離すことなく Thenar-First を実行できる。

2.1 実装

MacBook Air (2020 年モデル, macOS 12.1) にて、Thenar-First を実行できる試作システムを作成した。我々はタッチパッドにおける操作の大半がタッチパッドの中央およびその下部にて行われること [2] に基づき、本試作システムにおいてはタッチパッドの左右両端下 30% の領域 (図 2) へのタッチを母指球によるタッチとして判定することとした。

2.2 操作方法

Thenar-First は、母指球による押し込みを起点として 3 種類のジェスチャが実行できる。以降で述べるジェスチャ

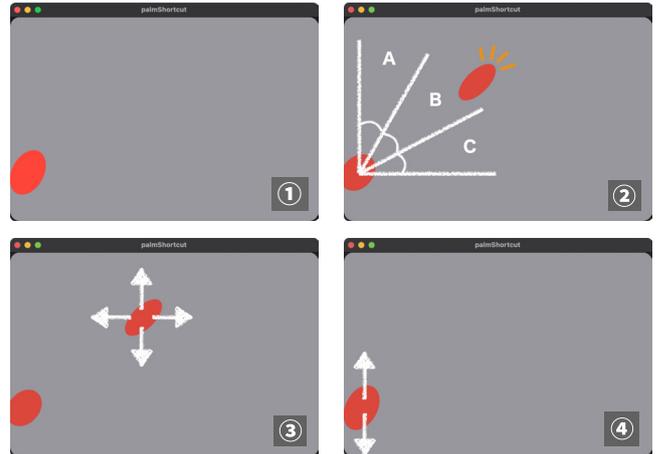


図 3 Thenar-First にて実行できるジェスチャ。これらのジェスチャは、1) 母指球を押し込んだ後に実行できる。2) 特定の角度に親指を開き、タッチパッドをタップする操作。3) 親指にてスワイプする操作。4) 母指球を上下にドラッグする操作 (パン操作)。

はいずれも母指球をタッチパッドへ押し込んだ後に、行うジェスチャである。

2.2.1 親指によるタップ

親指によるタップジェスチャにより、ショートカット入力を行える (図 3-2)。このジェスチャでは、ユーザの親指および母指球のそれぞれのタッチ点からなる直線がタッチパッドの下端方向となす角に基づき、領域が選択され、その領域に割り当てられたショートカットが実行される。試作システムでは選択できる領域 (0 度-90 度) が均等に 3 つの領域へ分割され、それぞれの領域にはユーザが自由にショートカットを割り当てられる。例えば、0 度-30 度ならコピー、30 度-60 度ならペースト、60 度-90 度なら全選択と割り当てられる。

2.2.2 親指によるスワイプ

親指によるスワイプジェスチャにより、カーソル移動を行える (図 3-3)。例えば、親指を左へスワイプした場合、左カーソル移動の入力となる。スワイプ後に親指をタッチパッドから離さず維持し続けることにより、連続してカーソル移動を実行できる。

キーボード上において、カーソルキーはホームポジションから離れた場所に配置されるため、キーボード上のカーソルキーを操作するためにはホームポジションから指を離す必要がある。Thenar-First を用いることにより、ユーザはホームポジションから指を離すことなくカーソル移動を実行できるため、カーソル移動を頻繁に利用する表計算ソフトでの作業において作業効率の向上が期待できる。

2.2.3 母指球によるドラッグ

母指球を上下に動かすことによりスクロールおよびズームが行える (図 3-4)。この操作は母指球がタッチパッドへ触れている間実行され続け、押し込み時のタッチ点と母指球を動かした後のタッチ点との距離に応じてスクロール

*1 <https://support.apple.com/guide/mac-help/mchlp3000/mac> (最終参照日: 2021 年 12 月 22 日)

およびズームの速度が決まる。Thenar-First では、タッチパッドの右側および左側の両方の領域にてそれぞれ異なる操作を割り当てられるため、母指球による上下の移動を左手にて行うことによりスクロール、右手にて行うことによりズームと操作を使い分けられる。

3. 関連研究

多くのラップトップコンピュータはキーボードおよびタッチパッドを有する。キーボードは文字入力、タッチパッドはポインティングに特化した機器であるが、さらに入力語彙を拡張するために多くの手法が提案されてきた。本節では入力語彙を拡張する先行研究を述べたのちに、Thenar-First の立ち位置を述べる。

3.1 キーボードを用いた入力語彙拡張

多くの OS にはグローバルショートカット（コピー、カット、およびペースト等）が定義されており、そのほか、アプリケーションごとに多くのショートカットが定義されている。ユーザはこれらのショートカットを修飾キー（主に control キー）とともにキーボード上のキーを押下することにより実行できる。例として、テキストエディタである Vim^{*2} および Emacs^{*3} において、ユーザは修飾キーとともにキーを押下することにより、ホームポジションから指を大きく離すことなくキャレットを移動できる。しかし、修飾キーはしばしばホームポジションからは押しづらい位置にあるため、ユーザはホームポジションから指を離して実行することが強制される。また、ホームポジション上のキーを用いたキャレット移動は、キーと上下左右方向への対応付けが難しく、カーソルキーと同様の速度にて入力できるようになるためには長期利用による習熟を要する。

一方で、修飾キーを用いずにキーボード上にて入力語彙を拡張する手法が多く提案されてきた [3–8]。Zheng ら [3] は、修飾キーの代わりに、キーを押下したのちに親指を開くジェスチャを行うことにより、ショートカットを実行できる手法を示した。Taylor ら [4] は、キーボードのキー間に赤外線距離センサを配置することにより、キーボードの上の空間にてジェスチャを実行できる手法を示した。Tung ら [5] はキーボード上に静電容量センサを張り巡らせることにより、キーボード上においてジェスチャを実行できる手法を示した。高田ら [6] および Wilson ら [7] は、それぞれキーボード上にてポインティングを実行できる手法を示し、その手法がジェスチャ操作へ応用できることを示した。これらの研究ではキーボードを用いた入力語彙を拡張したが、その入力の実行には依然としてホームポジションから指を離す必要が生じる。

Thenar-First は、ユーザがホームポジションから指を離すことなく実行できる点、およびタッチパッドにて親指または母指球を動かした方向と対応した入力が実行できるため想起性が高い点にて優れる。

3.2 タッチパッドを用いた入力語彙拡張

タッチパッドの入力語彙を拡張する手法がこれまでに多く提案されてきた [1, 9–14]。Fruchard ら [13] および Heo ら [14] は、タッチパッド上の異なる 2 点間をスワイプまたはタップすることによりジェスチャを実行できる手法を示した。Nakamura ら [9, 10] は、タッチパッドへ左右どちらの手で触れたか、および親指とそれ以外の指のどちらで触れたかを識別することにより入力語彙を拡張した。Ikematsu ら [1] は、爪によるタッチパッドへの接触を検知することにより入力語彙を拡張した。PalmTouch [12] は、手のひらによるタッチパッドへの接触を検知することにより入力語彙を拡張した。しかし、これらの手法を実行するために、ユーザはホームポジションから指を離す必要があり、ホームポジションに指をおいた状態、すなわち親指しか操作に使用できない環境ではこれらの手法を利用することが難しい。

ホームポジションから指を離すことなくタッチパッドの入力語彙を拡張する手法として ThumbSense [15] がある。ThumbSense では、ユーザの親指がタッチパッドへ触れている間、キー操作が ThumbSense 専用の操作へ変化する。これにより、ホームポジションから指を離すことなくポインティングおよび作業ウィンドウの切り替え等が実行できる。一方で、ThumbSense はタッチパッドへ触れている間は文字入力ができない。そのため、ユーザの指が意図せずタッチパッドへ触れてしまうと、文字入力作業が妨げられてしまう。

Thenar-First は、ホームポジションから指を離すことなく実行でき、かつ母指球が触れている間はタッチパッドの操作のみが変化する。したがって、タッチパッドを用いない作業へ干渉しないことから、ユーザの文字入力作業を妨げない点にて優れる。

4. 使用例

本節では、ラップトップコンピュータを用いた作業場面において、Thenar-First を適用することにより作業効率が改善できると考えられる場面を説明するとともに、Thenar-First をどのように適用するのか述べる。

4.1 ショートカット入力

ユーザは Thenar-First における親指によるタップジェスチャにより、グローバルショートカットまたはアプリケーションごとのショートカットを実行できる。これにより、

^{*2} <https://www.vim.org>（最終参照日：2021 年 12 月 22 日）

^{*3} <https://www.gnu.org/software/emacs/>（最終参照日：2021 年 12 月 22 日）

ユーザはホームポジションから指を離すことなしにショートカットが実行できるため、作業効率の向上を期待できる。この他、タップしたのちに親指を左右または上下にスワイプすることにより、音量の調整のようなスライダ入力およびカラーホイールのような2次元位置入力も行えると考えられる。

4.2 表計算ソフトの操作

Microsoft Excel^{*4}および Google Sheets^{*5}に代表される表計算ソフトでは、セル間の移動のために頻繁にカーソルキーまたはカーソル移動用のショートカットが入力される。多くのキーボードはカーソルキーがホームポジションから離れた位置に配置されており、ユーザはセル間を移動するたびに指の大きな移動を要求される。また、ウィンドウの表示領域に収まらない表にて作業する場合、適宜スクロールおよびズームを行うために、ホームポジションから指を離してタッチパッドを操作する必要がある。Thenar-Firstにおける親指によるスワイプジェスチャにより、ユーザはホームポジションから指を離すことなくカーソル移動を、両手の母指球を動かすことにより、スクロールおよびズームをそれぞれ実行できる。これによりユーザは、常にホームポジションに指をおいた状態にて文字入力および表操作ができるため、表計算作業を効率的に行えると考えられる。

4.3 ウェブブラウジング

多くのウェブページは全てのコンテンツを閲覧するために、スクロールを必要とする。また、利用者登録ページおよび届け先住所フォームへの入力では、情報の入力ならびに内容を確認および修正するために、文字入力、ポインティングおよびスクロールと操作を頻繁に切り替える必要がある。ユーザは Thenar-First を用いることにより、文字入力、ポインティングおよびスクロールをはじめとするウェブブラウジングに必要な入力を全てホームポジションから指を離さずに実行できる。

5. 予備実験

6名の参加者(22歳-26歳、全員男性かつ右利き)に Thenar-First を用いて表計算ソフト(Numbers.app^{*6})の操作を行ってもらった。実験には、MacBook Air(2020年モデル、macOS 12.1)、および2.1節にて述べた試作システムを用いた。なお、Thenar-First を用いた表計算ソフトの操作方法は、4.2節に記述した操作に基づく。

^{*4} <https://www.microsoft.com/microsoft-365/excel> (最終参照日: 2021年12月22日)

^{*5} <https://www.google.com/sheets/about/> (最終参照日: 2021年12月22日)

^{*6} <https://www.apple.com/numbers/> (最終参照日: 2021年12月22日)

5.1 内容

作業内容は、セル間の移動、特定のセルのコピー、および別のセルへのペーストを Thenar-First のみを用いて5分間自由に行ってもらったものであった。参加者は作業中に思ったことを自由に発言すること、および実験終了後に Thenar-First の使い勝手についてコメントすることを要求された。

5.2 参加者からのコメント

実験より得られた参加者からのコメントを以下に列挙する。

- 下方向へのセル間の移動が難しい (P_1, P_2, P_4)。
- 左右方向へのセル間の移動は容易に実行できる (P_1, P_2, P_4)。
- コピー操作は親指をかなり開かないと入力できないため、よく別のショートカットが実行される (P_2, P_5, P_6)。
- 間違えて操作が実行されないように、手をわずかに浮かせながら作業する必要があるため疲れる (P_1, P_3)。
- 手の移動が必要ないため、操作に慣れれば素早く表操作ができそう (P_4, P_6)。

6. 制限と今後の課題

本節では Thenar-First の制限を述べ、それを踏まえた今後の課題を述べる。

6.1 タッチパッド領域の制限

Thenar-First は、母指球および伸展した親指の両方の位置を取得する必要があるため、十分に大きなサイズのタッチパッドを要する。タッチパッドの大きさはコンピュータごとに異なるため、Thenar-First を適用できるコンピュータは限られる。一方で、Thenar-First において母指球は開始符号としての役割を担う部分が大い。そのため、タッチパッド外にて母指球の押し込みを取得できれば、タッチパッドのサイズが小さいコンピュータにおいても Thenar-First が適用できると考えられる。例えば、感圧センサを用いてパームレストにて母指球の押し込みを取得する方法、または母指球の押し込み時に手首へ力が入ったことをスマートウォッチにより検知する方法 [16, 17] などが考えられる。したがって今後は、タッチパッドのサイズに依存せずに Thenar-First を使用できる方法を検討する。

6.2 意図しない母指球による押し込みの発生可能性

Thenar-First の設計段階において、タッチパッドを操作していない時にもしばしば母指球がタッチパッドに触れることが観察された。多くの OS において母指球によるタッチは入力として取得しないように処理(パームリジェクション)される。これは母指球によるタッチによって、

ユーザの意図しない入力の実行されることを防ぐためである。我々の作成したシステムでは母指球による押し込みを開始符号として利用するため、意図しない母指球による押し込みから意図しない操作が実行されうる。予備実験における「間違っただけで操作が実行されないように、手をわずかに浮かせながら作業する必要があるため疲れる」というコメントからも、Thenar-First のユーザは母指球がタッチパッドへ触れることによる誤動作を憂慮しながら作業を行っていたと考えられる。そのため、母指球によるタッチパッドへの押し込みが意図した操作か否かを判別するシステムを作成する必要がある。macOS のアプリケーションは、タッチ点ごとにタッチパッド上の座標、長径および短径を取得できるため、これらの情報をもとに機械学習を用いて推論モデルを作成し、意図した母指球によるタッチか否かを判定するシステムが作成できると考えられる。したがって今後は、特定領域へのタッチではなく、タッチ点情報から意図した母指球による押し込みを識別できるシステムの開発を進める。

6.3 性能および使い勝手の評価

予備実験において参加者 3 名が「下方向へのセル間の移動が難しい」および「左右方向へのセル間の移動は容易に実行できる」と述べていることから、縦軸方向へ親指をスワイプすることは困難であるが、横軸方向へ親指をスワイプすることは容易であるといえる。これは、母指球を固定した状態において、親指を円弧に動かすことは骨格上容易であるが、上下左右方向へ正確に動かすことは困難であることが原因であると考えられる。したがって、ユーザの上下左右方向それぞれの方向への親指のスワイプを収集し、ユーザの指の動きに合わせて、上下左右方向のスワイプを識別する軸の向きを修正することが好ましいと考えられる。また、参加者 3 名が「コピー操作は親指をかなり開かないと入力できないため、よく別のショートカットが実行される」と述べていることから、親指を大きく開く動作が難しいと考えられる。したがって、ユーザが無理なく親指を開ける範囲を調査するとともに、ショートカットを実行できる領域の角度の分割配分およびその弁別数を調査する必要がある。

本稿では、Thenar-First の試作システムを用いてユーザからコメントを収集したものの、Thenar-First と既存手法との性能および使い勝手の比較を行っていない。参加者 2 名の「手の移動が必要ないため、ジェスチャに慣れれば素早く表操作ができそう」というコメントから、Thenar-First にて高速に操作を行うためには慣れが必要であると考えられる。したがって、数日間定期的に Thenar-First を使用してもらって長期的な調査を行うことにより、Thenar-First と既存手法との性能および使い勝手の比較を行う予定で

ある。

7. まとめ

本稿では、キーボードのホームポジションに指を置いたまま、タッチパッドへの親指を用いた入力の語彙を拡張するジェスチャ操作である Thenar-First を示した。Thenar-First はユーザの母指球によるタッチパッドへの押し込みを開始符号として利用する。これにより、ユーザは文字入力、ポインティング、ショートカット入力、カーソル移動、スクロール、およびズームの全てをキーボードのホームポジションから指を離すことなく途切れずに実行できる。したがって、ユーザは Thenar-First を用いることにより作業の効率化を図れる。今後は Thenar-First の性能および使い勝手を評価するとともに、より入力語彙を増やすためのジェスチャの拡充を検討する。

参考文献

- [1] Ikematsu, K. and Yamanaka, S.: ScraTouch: Extending Interaction Technique Using Fingernail on Unmodified Capacitive Touch Surfaces, *Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies*, Vol. 4, No. 3, pp. 81:1–81:19 (2020).
- [2] Malacria, S., Goguey, A., Bailly, G. and Casiez, G.: Multi-Touch Trackpads in the Wild, *Actes de la 28ième conference francophone sur l'Interaction Homme-Machine, IHM '16*, pp. 19–24 (2016).
- [3] Zheng, J., Lewis, B., Avery, J. and Vogel, D.: FingerArc and FingerChord: Supporting Novice to Expert Transitions with Guided Finger-Aware Shortcuts, *User Interface Software and Technology, UIST '18*, Association for Computing Machinery, pp. 347–363 (2018).
- [4] Taylor, S., Keskin, C., Hilliges, O., Izadi, S. and Helmes, J.: Type-Hover-Swipe in 96 bytes: A Motion Sensing Mechanical Keyboard, *Proceedings of Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '14*, Association for Computing Machinery, pp. 1695–1704 (2014).
- [5] Tung, Y. C., Cheng, T. Y., Yu, N. H., Wang, C. and Chen, M. Y.: FlickBoard: Enabling Trackpad Interaction with Automatic Mode Switching on a Capacitive-Sensing Keyboard, *Proceedings of Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '15*, Association for Computing Machinery, pp. 1847–1850 (2015).
- [6] 高田峻介, 志築文太郎, 高橋伸: キーボード上における 2 つのキーの連続押下を開始符号とする操作手法, 情報処理学会研究報告 (HCI-168), 情報処理学会, pp. 1–6 (2016).
- [7] Wilson, A. D. and Cutrell, E.: FlowMouse: A Computer Vision-Based Pointing and Gesture Input Device, *Proceedings of IFIP International Conference on Human-Computer Interaction, INTERACT '05*, Springer International Publishing, pp. 565–578 (2005).
- [8] Buschek, D., Roppelt, B. and Alt, F.: Extending Keyboard Shortcuts with Arm and Wrist Rotation Gestures, *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '18*, No. 21, Association for Computing Machinery, pp. 1–12 (2018).
- [9] Nakamura, T. and Shizuki, B.: Distinction System of Left and Right Hands Placed on a Keyboard of Laptop Computers, *Proceedings of the 30th Australian Confer-*

- ence on *Computer-Human Interaction*, OzCHI '18, Association for Computing Machinery, pp. 587–589 (2018).
- [10] Nakamura, T. and Shizuki, B.: Identification Method of Digits for Expanding Touchpad Input, *Proceedings of the 22nd International Conference on Human-Computer Interaction. Multimodal and Natural Interaction*, HCII '20, Springer International Publishing, pp. 463–474 (2020).
 - [11] Chhibber, N., Surale, H. B., Matulic, F. and Vogel, D.: Typealike: Near-Keyboard Hand Postures for Expanded Laptop Interaction, *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction*, Vol. 5, No. 486, pp. 1–20 (2021).
 - [12] Le, H. V., Kosch, T., Bader, P., Mayer, S. and Henze, N.: PalmTouch: Using the Palm as an Additional Input Modality on Commodity Smartphones, *Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '18, pp. 353–358 (2018).
 - [13] Fruchard, B., Lecolinet, E. and Chapuis, O.: MarkPad: Augmenting Touchpads for Command Selection, *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '17, Association for Computing Machinery, pp. 5630–5642 (2017).
 - [14] Heo, S., Gu, J. and Lee, G.: Expanding Touch Input Vocabulary by Using Consecutive Distant Taps, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '14, Association for Computing Machinery, pp. 2597–2606 (2014).
 - [15] Rekimoto, J.: ThumbSense: Automatic Input Mode Sensing for Touchpad-Based Interactions, *Proceedings of Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '03, Association for Computing Machinery, pp. 852–853 (2003).
 - [16] Aoyama, S., Shizuki, B. and Tanaka, J.: ThumbSlide: An Interaction Technique for Smartwatches Using a Thumb Slide Movement, *Proceedings of the 2016 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '16, Association for Computing Machinery, pp. 2403–2409 (2016).
 - [17] Dementyev, A. and Paradiso, J. A.: WristFlex: Low-Power Gesture Input with Wrist-Worn Pressure Sensors, *Proceedings of the 27th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '14, Association for Computing Machinery, pp. 161–166 (2014).