

# 大画面スマートフォンの片手操作手法

## A One-Handed Operation Method for Large-Screen Smartphones

笹森 悠輔

Yusuke Sasamori

法政大学情報科学部コンピュータ科学科

E-mail: yusuke.sasamori.8g@stu.hosei.ac.jp

### Abstract

*Smartphones with 6-inch or larger screens are popular because the usage of smartphones is becoming more diverse. Many users want to operate their smartphones with one hand. However, such a large-screen smartphone limits the operation of the entire screen with one hand, which makes it common to operate the smartphone with both hands or to re-grip it. In this paper, we propose a new method of operating a large-screen smartphone with one hand without re-gripping it. A circular GUI that appears at the bottom of the screen is used for the smartphone operations. The user points a target on the screen in the circular GUI, and performs a gesture such as a click and a long click in the circular GUI in order for the pointed target to recognize the associated operation. We propose 3 discrete pointing operations, i.e., "flick," "slide time," and "slide distance." A preliminary experiment was conducted, and the slide distance operation obtained the best result. Also, a comparative experiment of the slide distance operation vs conventional direct touch was conducted. As a result, the slide distance operation largely reduced the re-gripping of the smartphone. The result of a subjective evaluation based on a questionnaire showed a good result of the slide distance operation in terms of usability and relatively good results in terms of efficiency and satisfaction.*

### 1. はじめに

近年、6インチを超える大画面スマートフォンが普及している。スマートフォンが連絡を取るためだけのデバイスではなく、インターネットサーフィン、SNS、動画視聴、ゲームといった、パソコンのように多目的に使われるデバイスに進化しているからである。多くのユーザーは片手の親指だけでスマートフォンを操作したいと考えている。荷物を持っているときや、電車内でつり革につかまっているときなど、片手でスマートフォンを操作しなければならない場合が多くあるためである。しかし、スマートフォンが大画面であるため、画面の全範囲を親指だけで片手操作をするには限界があり、両手操作やスマートフォンの持ち替えが強いられることが多い。

本論文では、スマートフォンの片手操作時、持ち替えて操作しなければならない場合の代替手法として、大画

面スマートフォンの新しい操作方法を提案する。画面下部に円形の GUI を表示させ、これを用いて親指だけでスマートフォンを操作する。操作方法として、円形の GUI で画面に表示されているターゲットを指示し、円形の GUI にクリックやロングクリックのジェスチャを行うことで、指示したターゲットに対する操作を認識させる。この操作手法は従来の仮想ポインティング手法に類似しているが、従来の仮想ポインティング手法は連続的な操作であるのに対して、本論文で提案する手法は離散的な操作である点に特徴がある。

### 2. 関連研究

iPhone に搭載されている簡易アクセス、Xperia や Galaxy シリーズの片手モードなどは片手操作を実現している。iPhone シリーズの簡易アクセスは、画面上部を下にスライドし、親指が届く範囲で片手操作を実現している。Xperia や Galaxy シリーズの片手モードは、画面の表示サイズを縮小し、片手操作を実現している。これらの機能は、画面表示が変更されるため、機能を作動後に操作するには表示画面を再確認しなければならない。

大画面スマートフォンの操作性を向上するために、多くの研究がされてきた。ExtendedThumb [1]は実際の親指の仮想親指プロキシを表示することで、親指の届かない範囲でのターゲットの指示を実現した。BezelSpace [2]はベゼルスワイプで起動し、画面上にカーソルを伸ばした指先のようにキャストすることで、片手操作を実現している。Lai ら [3]は、タッチスクリーン上の親指操作による仮想ポインティング手法である Virtual Touchpad, Virtual Direction Key, Virtual Joystick を比較した。Virtual Touchpad と Virtual Joystick のカーソル操作は連続的な操作方法だが、Virtual Direction Key のカーソルはターゲット間をジャンプする離散的な操作方法になっている。その結果、Virtual Touchpad が最も効率的だが、Virtual Direction Key の方がわずかにエラー率は低かった。また、7名の経験豊富なユーザビリティデザイナーでフォーカスグループインタビューを行い、モバイルコンテキストでのタッチスクリーンカーソルコントロールの制約を定義した。この制約には、安定したシンプルな操作、割り込み可能な操作、正確なポインティングの回避が含まれる。これらの制約を考慮し評価すると、Virtual Direction Key が最も安定している結果となった。

### 3. 予備実験

Laiらの研究で離散的な操作方法が最も安定している結果になったことから、大画面スマートフォンで親指のみの片手操作を実現するために、離散的な操作方法を検証する。スマートフォン画面下部に円形の GUI を表示し、ユーザは円形の GUI を用いて、スマートフォンに表示されているターゲットを指示する。指示操作時、斜めの移動が可能である。

ターゲットを指示するための円形の GUI の操作方は、以下の3つの候補を検討した。

- フリックによる指示方法：円形の GUI をフリックした方向に指示位置が1つ移動する(図 1(a))。離れたターゲットを指示する場合、何度も円形の GUI をフリックする必要がある。
- スライド時間による指示方法：指示位置を移動したい方向に円形の GUI をスライドし、その時間が一定時間を超えると1つ移動する(図 1(b))。
- スライド距離による指示方法：指示位置を移動したい方向に円形の GUI をスライドし、円形の GUI の中心座標からの距離が長いほど遠く移動できる(図 1(c))。

3種類の円形の GUI の操作方のうち、ターゲットを指示する動作に最も適した、離散的な操作方法を調べるために、予備実験を行った。

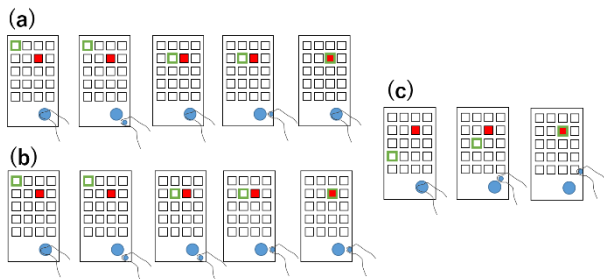


図 1 比較する操作方法。(a)フリックによる指示方法の操作例。(b)スライド時間による指示方法の操作例。(c)スライド距離による指示方法の操作例。

#### 3.1. 実験手順

実験には Google Pixel 3 XL (6.3 インチ)を使用し、6名の被験者に協力してもらった。図 1 の赤い UI がターゲットで、緑で囲まれているのが現在指示している UI である。ターゲットまで指示位置を移動し、円形 GUI をタップすることで、指示終了になる。この指示を各操作方法で、50 回繰り返す。被験者には、正確かつ早く指示するように伝え、5 分間の練習を行ってもらった。指示にかかった時間とエラー数を記録し比較をした。エラー数は、誤った指示として定義した。

#### 3.2. 実験結果

平均指示時間は、フリックによる指示が 1075 ms、スライド時間による指示が 1588 ms、スライド距離による指示が 994 ms だった。平均エラー率は、フリックによる指示が 5.0 %、スライド時間による指示が 7.0 %、スライド距離による指示が 3.0% だった。平均指示時間、平均エ

ラー率ともに、スライド距離による指示方法が最も高い結果を得た。この実験結果から、ターゲットを指示する動作に最も適した離散的な操作方法は、スライド距離による指示方法であることが判明した。

### 4. 提案手法

本論文では、大画面スマートフォンで親指のみの片手操作を実現するために、離散的な操作方法である、スライド距離による指示方法を提案する。スマートフォン画面右下部に表示される円形の GUI を用いてカーソルの操作をする。円形の GUI をスライドした方向に、カーソルが移動する。移動方向は上下左右斜めの 8 方向である。スライドを開始した座標  $(f_x, f_y)$  から、現在指がある座標  $(E_x, E_y)$  までの距離が 300 以下の場合には 100 ごとに指示位置が 1つ移動し、距離が 300 以上の場合には 50 ごとに指示位置が 1つ移動する。

カーソルの移動方向の決定は以下の式で計算する。

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{-(E_y - f_y)}{E_x - f_x} \right)$$

$\theta$  の値に応じて右、右上、上、左上、左、左下、下、右下のいずれかの方向にカーソルが移動する。

現在カーソルのあるターゲット以外のターゲット集合  $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$  には、現在カーソルのあるターゲットからどの方向にあるのかを判別し、カーソルの移動方向と同期する必要がある。現在カーソルのあるターゲットの中心座標を  $(C_x, C_y)$ 、他のターゲットの中心座標を  $(t_i^x, t_i^y)$  とすると、以下の式で新たなターゲットの方向を求める。ただし、 $1 \leq i \leq n$  とする。

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{-(t_i^y - C_y)}{t_i^x - C_x} \right)$$

また、より直感的に操作するために以下の式によってターゲットの方向を決定する。

$$\begin{aligned} \text{上} &: \{t_i \mid t_i^{\text{bottom}} \leq C_{\text{top}} \wedge t_i^{\text{left}} \leq C_{\text{right}} \wedge t_i^{\text{right}} \geq C_{\text{left}}\} \\ \text{下} &: \{t_i \mid t_i^{\text{top}} \geq C_{\text{bottom}} \wedge t_i^{\text{left}} \leq C_{\text{right}} \wedge t_i^{\text{right}} \geq C_{\text{left}}\} \\ \text{右} &: \{t_i \mid t_i^{\text{left}} \geq C_{\text{right}} \wedge t_i^{\text{top}} \leq C_{\text{bottom}} \wedge t_i^{\text{bottom}} \geq C_{\text{top}}\} \\ \text{左} &: \{t_i \mid t_i^{\text{right}} \leq C_{\text{left}} \wedge t_i^{\text{top}} \leq C_{\text{bottom}} \wedge t_i^{\text{bottom}} \geq C_{\text{top}}\} \end{aligned}$$

以上の式によって、ターゲットの方向が2つあり、その2つの方向の間に方向が1つあった時、その間の方向もターゲットの方向とした。

### 5. 実装

開発環境として Android Studio、開発言語は Java を用いて、図 2 のようなアプリケーションを開発した。画面上の情報の取得には Android Accessibility Service [4] を用いた。提案手法の起動は、スマートフォン背面の指紋センサを下にスワイプすることで行う。

### 6. 実験

比較実験と評価実験を行った。両実験共に、Google Pixel 3 XL (6.3 インチ)を使用し、6名の被験者(男性6名、平均年齢 22.3 歳)に協力してもらった。



図 2 実装したアプリケーションの操作例。緑色で囲われたターゲットがカーソルの現在位置。灰色で囲われたものがその他のターゲット。

## 6.1. 直接タッチとの比較

### 6.1.1. 実験手順

この実験は、一般的な直接タッチによる操作方法と比較した提案手法の効率を調べるために実施する。また、予備実験ではターゲットを格子状に表示していたため、より一般的なアプリケーションでの操作を考慮し、ランダムな位置のターゲットでの離散的な指示方法が適しているのかを調べる。

図 3 のアプリケーションを用いて実験を行った。画面上に 9 個のターゲットをランダムな位置に表示させる。そのうち 1 つのターゲットに、クリック、ロングクリックどちらかのジェスチャを実行してもらう。この指示を提案手法と直接タッチによる操作で、それぞれ 50 回繰り返す。順序効果を考慮し、6 名の被験者を先に直接タッチによる操作を行うグループと、提案手法の操作を行うグループに分けた。実験中、指示時間、エラー数、スマートフォンを持ち替えた回数、ターゲットの中心座標、実行したジェスチャを記録した。エラー数は誤ったターゲットへのジェスチャ、ターゲットへの誤ったジェスチャとして定義した。スマートフォンの持ち替え回数は回転ベクトルセンサを用いて記録をした。



図 3 実験用のアプリケーション。

### 6.1.2. 実験結果

実験結果を以下の図 4 に示す。平均指示時間は、直接タッチによる操作 938ms が、提案手法による操作が 1965 ms だった。平均エラー率は、直接タッチによる操作 3.0 % が、提案手法による操作が 5.7 % だった。平均持ち替え回数は、直接タッチによる操作 0.77 回が、提案手法による操作が 0.03 回だった。提案手法を用いることで、持ち替え回数が大幅に削減された。

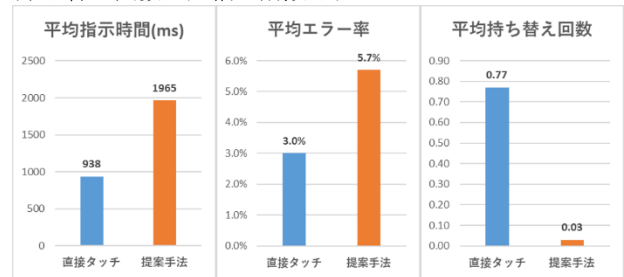


図 4 比較実験結果

## 6.2. 提案手法の評価

### 6.2.1. 実験手順

この実験は、提案手法について、効率・使いやすさ・満足度の 3 項目の評価のために行う。提案手法を用いて、自由にウェブサーフィンをしてもらう。ただし、提案手法だけで操作するのではなく、一般的な直接タッチと連携して操作をしてもらう。5 分間操作後に、効率・使いやすさ・満足度の 3 項目について、5 段階のリッカート尺度を用いたアンケートで主観的評価をしてもらう。なお、アンケートには自由記述欄を設けている。

### 6.2.2. 実験結果

アンケートの結果を以下の図 5 に示す。使いやすさの点で、4.1 の高い評価を得ることができた。効率と満足度の点では 3.8 の比較的良い評価を得ることができた。効率の点に関して、標準偏差による誤差範囲が広いため、被験者間でのばらつきがあったことが分かる。

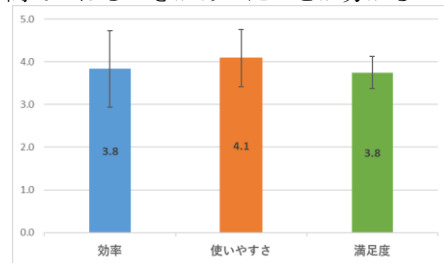


図 5 アンケートによる主観的評価。

## 7. 議論

### 7.1. 比較実験について

予備実験ではターゲットを格子状に並べていたが、6.1 節で実施した比較実験では、ターゲットをランダムな位置に配置し、より一般的なアプリケーションを意識した。その結果、予備実験の結果よりも平均指示時間が約 1000

ms 増加した。ランダムな位置にあるターゲットでは、離散的なカーソル操作は、カーソルの移動位置が把握しにくいと考えられる。提案手法のエラーの約 9 割はロングクリックの実行中に計測されていた。ロングクリックの実行が煩わしかったと考えられる。本論文の目標である、スマートフォンの持ち替え回数は、提案手法を用いることで大幅に減らすことができた。提案手法を効率よく使うことで、スマートフォンを持ち替えせずに操作することが可能になる。

## 7.2. 評価実験について

### 7.2.1. 直接タッチとの連携

現在の実装では、提案手法を起動中に青色の円形 GUI 以外場所に指が触れると提案手法がオフになるようにしている。これは直接タッチとの連携を考慮したためである。親指が届かない場合に提案手法を用いることを想定していたため、すぐに提案手法がオフになるように実装をした。しかし、円形 GUI を操作中に誤って他の場所に触れてしまい、提案手法がオフになってしまう点が煩わしいという指摘を受けた。

この点を解消するために、提案手法のオンとオフを切り替えるアクションを追加する。提案手法の起動は指紋センサのスイープを採用している。提案手法起動中に、再度指紋センサを下にスイープすることで、提案手法をオフにするようにする。また、この論文で提案している手法は、スマートフォンの片手操作時、持ち替えて操作しなければならない場合の代替手法である。そのため、連続して提案手法を使用することはあまりない。クリックやロングクリックのジェスチャを実行後に提案手法をオフにするように変更する。このように実装を変更すれば、効率の評価が向上すると考えられる。

### 7.2.2. カーソル設計

本論文では、カーソルの移動方向は上下左右斜めの 8 方向のみとなっている。連続的なポインティング手法は方向に縛られずに、自由に指示位置を移動することができる。提案手法もより多くの方向に指示位置を移動できるようにすれば、より直感的に操作できる可能性があるという指摘を受けた。また、現在の実装では一定距離スライドすることでカーソルが 1 つ移動することができる。この一定距離を個人設定できるようにすれば、より操作性が向上するという指摘を受けた。

八箇ら [5] の調査では、タッチ領域の中心をカーソルの始点としたカーソル設計は、高速かつ高精度であり、さらにユーザ評価も高いということが判明している。現在の実装ではカーソルの初期位置は、スマートフォンに表示されているターゲットの中で最も左上にあるターゲットにカーソルがある。これは、親指が最も届かない領域であるスマートフォンの上部分での使用を考慮したためである。カーソルの初期位置を変更することで、使いやすさの評価が向上すると考えられる。

### 7.2.3. エラー解消

6.2 節の評価実験を実施している際に、ウェブサイトでターゲットを正しく読み込まないときがあった。スライドショーやカルーセルのあるウェブサイトでは、正しく

読み込むことができていなかった(図 6)。現在の実装では、ターゲットの範囲がすべてスマートフォンの画面範囲にあるときのみターゲットとして認識している。これを変更し、現在の画面に表示されているターゲットだけを読み取れるように実装を変更すれば、読み込みエラーを減らせることができる。その結果、満足度の向上につながると考えられる。



図 6 ターゲットを正しく読み取れていない状態。経過時間によって画面が遷移するため、すべての状態のターゲット(灰色)を読み込んでいる。

## 8. おわりに

本論文では、スマートフォンの片手操作時、持ち替えて操作しなければならない場合の代替手法として、大画面スマートフォンの新しい離散的な操作方法を提案した。直接タッチとの比較実験の結果、持ち替え回数が大幅に削減された。主観的評価の結果、使いやすさの点で高い評価を得た。

今後の課題として、提案手法の効率と満足度を上げることがあげられる。解決策として、直接タッチとの連携の強化、カーソル設計、ターゲットの読み込みエラーの解消が考えられる。

## 文 献

- [1] J. Lai and D. Zhang, "ExtendedThumb: A Target Acquisition Approach for One-Handed Interaction With Touch-Screen Mobile Phones," *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, vol. 45, no. 3, pp. 362-370, 2015.
- [2] N. H. Yu, D. Y. Huang, J. J. Hsu and Y. P. Hung, "Rapid Selection of Hard-To-Access Targets by Thumb on Mobile Touch-screens," *Proc. ACM MobileHCI*, pp. 400-403, 2013.
- [3] Y. Ren Lai and T. K. Philip Hwang, "Virtual Touchpad for Cursor Control of Touchscreen Thumb Operation in the Mobile Context," *Proc. DUXU, LNCU*, vol. 9187, pp. 563-574, 2015.
- [4] "Android Accessibility Service," [Online]. Available: <https://developer.android.com/reference/android/accessibilityservice/AccessibilityService>.
- [5] 八箇恭平, 志築文太郎, "大形スマートフォンの片手操作のためのカーソル設計に関する調査," 情報処理学会研究報告: ユビキタスコンピューティングシステム(UBI), vol. 60, no. 18, pp. 1-8, 2018.