情報処理学会論文誌 Vol.62 No.2 689–700 (Feb. 2021)

選択ターゲット候補の半円状再配置による スマートフォンでの片手選択操作手法の提案

秋葉 翔太[1,a)] 崔 明根[1] 坂本 大介[1] 小野 哲雄[1]

受付日 2020年4月17日, 採録日 2020年11月5日

概要：本研究ではスマートフォンの片手操作時においてグループ化された複数のターゲットをユーザがタッチした際に，グループ内のターゲットを半円状に再配置した場合のターゲット選択手法を 3 つ提案する．提案手法では選択ターゲットを明示的に示すために，タッチされた点を中心として，選択候補となるターゲットすべてが指に被らないように指の周りに半円状に再配置する．本研究では，再配置した目標ターゲットを選択する手法として，目標ターゲットの方向へ直接指を傾けて選択する One Half-Pie，2 段に配置されたターゲットを押し込み動作によって切り替えながら選択する Two Half-Pie，タッチした地点からドラッグした量に応じてターゲットの選択が行われる RailDragger の 3 つの選択方法を実装し評価する．実験では 3 つの選択手法を用いてそれぞれポインティングタスクを行い，選択終了までの時間と選択精度の観点から選択手法の評価を行った．その結果，提案する 3 手法において選択時間に関しては RailDragger が，選択精度に関しては Two Half-Pie が最も優れていることが分かった．

キーワード：スマートフォン，片手操作，ユーザスタディ

Target Selection Method with Semicircular Rearrangement for One-handed Mobile Touch Interaction

Shota Akiha[1,a)] Myungguen Choi[1] Daisuke Sakamoto[1] Tetsuo Ono[1]

Received: April 17, 2020, Accepted: November 5, 2020

Abstract: In this study, we propose a one-handed target selection method, in which the selection is completed with only one tap and a small amount of movement of the thumb. In this method, in order to explicitly show the selection target, targets are rearranged in a semicircular shape around the finger so that all the selection candidates are not covered by the finger. In this study, as a method of selecting a rearranged target, we implemented and evaluated three selection gestures. One Half-Pie that directly selects the target by tilting the finger in the direction of the target, Two Half-Pie that selects the target arranged in two steps while switching by pushing the display, and RailDragger that selects the target according to the amount dragged from the tapped point. In the experiment, the pointing task was performed using each of the three selection methods, and the selection methods were evaluated from the viewpoint of the time to selection completion and selection accuracy. As a result, we found that RailDragger was the best for the selection time and Two Half-Pie was the best for the selection accuracy in the three proposed methods.

Keywords: smartphone, one-handed method, user study

1. はじめに

スマートフォンはタブレットや PC と異なり，片手での操作が多いデバイスである [1], [2]．スマートフォンを片手で把持し操作を行う場面では，把持している手の親指のみで操作をすることが多いために複雑な操作ができず，いくつかの単純な操作を組み合わせる方法が採用されることが多い．たとえばブラウザ使用時にリンクが密集しているサイトでは，Fat Finger 問題 [3] により，直接リンクをタップしようとしても意図していないリンクを誤って選択しやすいために，ダブルタップで画面を拡大してからタップで

[1] 北海道大学
Hokkaido University, Sapporo, Hokkaido 060–0814, Japan
[a)] autumnleafhu22@gmail.com

© 2021 Information Processing Society of Japan

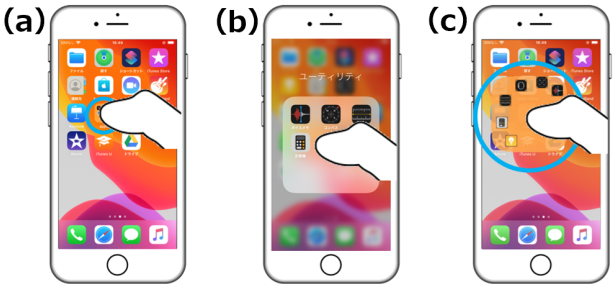

図 1　(a)：iOS におけるフォルダ機能．(b)：フォルダ機能デフォルトの動作．(c)：フォルダ機能に提案手法を適用した例

Fig. 1　(a): Folder function in iOS. (b): The default behavior of the folder function. (c): Example of applying the proposed method to the folder function.

リンクを選ぶという手順をふむ操作方法がある．また iOS や Android に搭載されている，複数のアプリを一括で管理できるフォルダ機能では 1 度フォルダアイコンをタップし，画面中央に表示されるアプリの候補の中から使いたいアプリをタップするという手順がある（**図 1** (a)，(b)）．以上のようなターゲット選択動作は，決定するまでに 2 回以上のタップを行わなければいけないうえ，2 回目以降のタップでは 1 度タップした位置と近い位置をタップするとは限らず，非連続的な動作となってしまう．また片手操作に着目した場合，タップ回数が多いことや親指の移動量が多いことによるスマートフォンの把持姿勢への影響が存在する [4], [5]．

そこで本研究ではグループ化された複数ターゲットの片手選択を対象に，ターゲットを再配置し，1 回のタッチかつ少ない親指の移動量で選択が完了する手法を提案する．まず本研究では選択ターゲット候補の提示方法として，タッチされた地点を中心に選択可能なターゲットを半円状に再配置する．ターゲットを半円状に整列させることによって，選択可能なターゲットを分かりやすくユーザに提示することを可能とする．その後の選択手法として，目標ターゲットの方向へ直接指を傾けて選択する One Half-Pie，ターゲットを 2 段に分けて再配置し，押し込み動作で選択する段を切り替え，ターゲットの方向へ指を傾けることで選択する Two Half-Pie，上下方向のドラッグ動作によってターゲットの半円自体を回転させてターゲットの選択を行う RailDragger の 3 つを提案する．本稿では提案手法における 3 種類の選択手法とその評価について述べる．本稿の貢献を以下に要約する．

- ターゲット選択時の候補提示として，半円状にターゲットを再配置する方法を提示した．
- 再配置されたターゲットに対する選択手法を 3 つ提案した．
- 実験によって 3 つの提案手法がどのような場面で有効であるかを調査した．

2.　関連研究

2.1　選択ターゲットの再配置

ターゲットを選択する際にターゲットそのものを再配置し選択する手法はいくつか研究されている．この手法は再配置を行うことによって密集したターゲットや小さなターゲットを分散させ，ジェスチャによって選択することが可能となる．Findlater らによる Enhanced Area Cursors [6] では，マウス操作において円状に選択ターゲットを再配置し，細かいターゲットの選択を容易にしている．この際の選択手法として，クリックによって再配置を行い目的のターゲットへマウスカーソルを動かす Click-and-Cross cursor と，画面に表示される赤い弧を横切るようにマウスカーソルを動かすことで再配置が行われ，目的のターゲットへマウスカーソルを動かして選択する Cross-and-Cross cursor があげられている．Xu らによる RegionalSliding [7], [8] では，タッチされた周辺のターゲットをタッチされた指に重ならない位置に円状，または四角状に再配置・再表示する．そこから目的のターゲットの方向へ指をスライドすることで選択を行う．Gunn らによる研究 [9] ではモバイルデバイス片手操作時の複数ターゲット選択について，指の周りにターゲットを円状に再配置し，ターゲットをなぞるようにドラッグしていくことで複数ターゲットの選択を可能にしている．本研究ではスマートフォンの片手ターゲット選択において，選択可能なターゲットを明示的に示し，なるべく親指の移動量が少ないジェスチャで選択できるようにターゲットの再配置を行う．

2.2　タッチデバイスにおける密集ターゲット選択手法

タッチデバイスにおいて，密集した小さいターゲットを直接タップして選択することは難しいため，直接タップ以外で容易な選択を可能にする手法が複数提案されている．Yatani らによる Escape [10] では，各ターゲットに矢印を割り当てることにより，タッチしてからスワイプする動作のみでターゲットの選択が可能である．Au らによる LinearDragger [11] ではタッチした地点からドラッグした距離に応じてターゲットの選択が行われる．他にも Su らによる 2D-Dragger [12] は，タッチしてスワイプされた方向のターゲットが選択され，さらにそのターゲットを基準として次のターゲットが存在する方向へとスワイプするといったように，スワイプ動作の繰返しを行うことで目標のターゲットまで順次選択していく．Shibata らによる DriftBoard [13] では，スマートウォッチなどの画面が非常に小さいデバイスにおけるキーボード入力において，画面上にあらかじめ表示されたカーソルに合わせてキーボードそのものを移動させて文字入力を行う．以上のように密集した小さいターゲット群に対して，直接タップすること以外による選択手法が複数提案されてきている．

© 2021 Information Processing Society of Japan

2.3 タッチデバイスにおける Occlusion 問題の解決

タッチデバイスにおける選択ジェスチャでは，画面の表示に指が重なり画面が見えにくくなるという Occlusion 問題が発生する．これは直接画面に触れて操作を行うデバイスにおいて重要な問題であり，様々な解決手段が研究されてきた．Vogel らによる Shift [14] では，タッチされている周辺の画面を指の上に重ならないように表示することで Occlusion 問題を解決している．Furumi らによる SnapRail [15] では，テーブルトップ型デバイス上に置かれたオブジェクトの周りに選択候補を円状に配置することで，Occlusion 問題を解決した選択を可能にしている．また他にもテーブルトップ型デバイスにおいて，操作する手と重なって見えなくなる Pie Menu の一部分を取り除くことによる，Occlusion 問題の起こらないメニュー選択手法が複数提案されている [16], [17]．また，Wigdor らによる LucidTouch [18] のように画面そのものを透明にし，背面からタッチ操作をすることによって，どのような状況でも Occlusion 問題の発生しないような操作をする手法も提案されている．本研究では指に重なる部分への画面の表示を避けることで Occlusion 問題の解決を試みる．

3. 提案手法

3.1 選択ターゲット候補の再配置

ターゲット選択手法において，選択するターゲットをそのまま画面上に表示すると，指が画面の表示に重なり画面が見にくくなる Occlusion 問題が起こり，ターゲット選択が困難になることが予想される．そこで本研究では，Occlusion 問題を回避しつつ，最小限の指の動きでターゲット選択を可能にするデザインとして，Enhanced Area Cursor [6] や SnapRail [15] を参考に，タッチした指の周りにターゲットを半円状に再配置させる手法を提案する（図 1 (c)）．具体的には半円の弧上に，等間隔で選択ターゲット候補すべてを配置する（**図 2** (a)）．この際，図 2 (a) のように右端のターゲットが指に重なって見えなくなってしまうことが想定される．そこでこの問題を解決するために図 2 (b)，(c) のように操作に用いる親指に合わせてターゲットの再配置を行う．この際の角度は Occlusion 問題の回避のために 45° の角度をつけて再配置を行う．

3.2 再配置されたターゲットに対する選択手法

続いて選択ターゲット候補を半円状に再配置した後の選択ジェスチャとして下記の 3 手法を提案する．なお，ここでは右手でスマートフォンを把持し，右親指のみでの操作をした場合の説明をする．本研究においては左手で操作する際には表示を反転させることにした．またすべての選択ジェスチャにおいて，選択中となっているターゲットは，他の再配置されているターゲットよりも拡大されて表示される．そして決定ジェスチャは指を離すだけとすることで，タッチしてターゲットを再配置し，目的のターゲットを選択し，指を離すという手順で 1 回のタッチでの選択を可能としている．

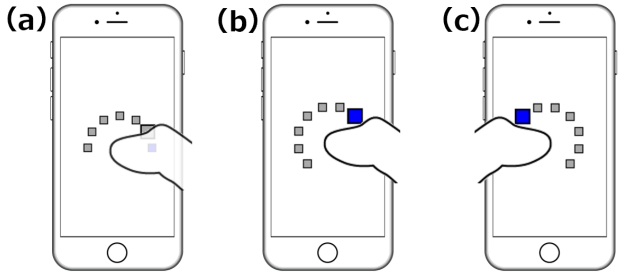

図 2 (a)：半円の弧上にターゲット候補を再配置する場合．(b)：右手で操作する場合の再配置．(c)：左手で操作する場合の再配置

Fig. 2 (a): In the case of rearranging a candidate target on an arc of a semicircle. (b): Rearrangement for right-handed operation. (c): Rearrangement for left-handed operation.

3.2.1 One Half-Pie

One Half-Pie は半円状に再配置したターゲット群に対して，選択したいターゲットの方向へ直接指を傾けて選択を行う手法である（**図 3** (a)）．ターゲット選択の際の内部処理について述べる．まず，タッチ座標の微小な移動量から，逆三角関数（arctan）を用いて指の角度を算出する．そしてその角度をもとに，その角度範囲に存在するターゲットが選択されるようにした．そのため，ターゲットを選択するためには，タッチ座標の微小な移動が必要である．そしてこの動作は，親指とタッチパネルとの接点を移動させるような動作となる．この動作が親指を選択したいターゲットの方向へ指を傾けることに近いため，本稿ではこの動作を指を傾けると定義する．各ターゲットの選択可能な角度範囲は，再配置されるターゲット数によって変化し，1 つのターゲットあたり 180°/(ターゲット数 −1) だけ割り当てられる．また右端と左端のターゲットの角度は選択のしやすさを考慮して，−90° から 270° まで選択範囲を拡張することで．選択をしやすくした（**図 4**）．この選択手法は以降 1HP と表記する．

3.2.2 Two Half-Pie

1HP ではターゲットの数が多くなっていくにつれて，各ターゲットに割り当てられる角度が小さくなっていき，正確な選択が難しくなることが考えられる．そこで選択できる数を維持し，より正確な選択を可能にするために，2 段にわたってターゲットを再配置し，選択する段を切り替えながら目標ターゲットを選択する手法を提案する．ここでは選択できる方の段を 1 段目，選択できず半透明で表示されている方の段を 2 段目と表記する．1 段目と 2 段目の切替えには，本研究で定義した選択ジェスチャとの競合を避けるために，ForceRay [19] などで用いられている

© 2021 Information Processing Society of Japan

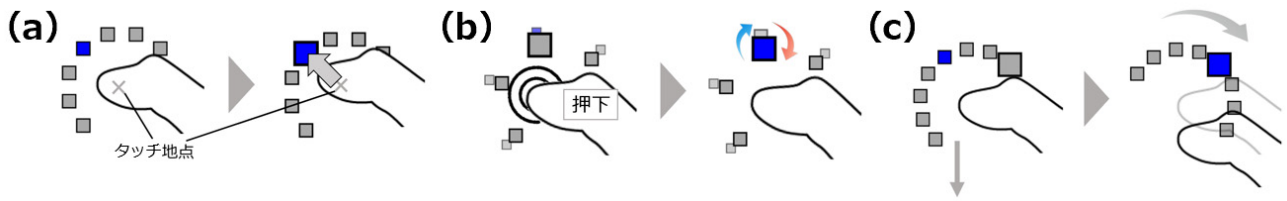

図 3　各種選択手法の操作方法．(a)：1HP の選択方法．(b)：2HP での 3DTouch による 1 段目と 2 段目の切替え．(c)：RD でのドラッグ動作による半円状に再配置したターゲットの回転

Fig. 3　How to operate the selection methods. (a): How to select in 1HP. (b): Switching between the first and second steps by 3DTouch in 2HP. (c): Rotation of the rearranged target by dragging in RD.

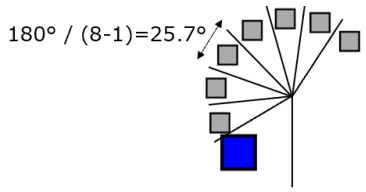

図 4　1HP における，各ターゲットに対する角度割当て．選択ターゲット数が 8 個の場合

Fig. 4　Angle assignment for each target in 1HP. When the number of selected targets is 8.

図 5　(a)：ターゲット数が偶数の場合の 2HP の配置．(b)：ターゲット数が奇数の場合の 2HP の配置

Fig. 5　(a): 2HP rearrangement for an even number of targets. (b): 2HP rearrangement for an even number of targets.

3DTouch [20]（画面を強く押すジェスチャ）を用いた．段を切り替える際には，タッチしてターゲットが再配置された状態で，強く押下することによって，1 段目と 2 段目のターゲットが入れ替わる（図 3 (b)）．またこの手法では 1HP と同様の各ターゲットに対する角度割当てがなされており，選択動作も 1HP と同様にターゲットの方向へ指を傾ける動作である．また，再配置されるターゲット数が偶数の場合は，**図 5** (a) のように，1 段目と 2 段目にそれぞれ同じ数（この場合 4 個ずつ）に分けられて再配置が行われる．一方で，再配置されるターゲット数が奇数の場合は，図 5 (b) のように 3DTouch を使わずに直接選択できる 1 段目の数が 1 つ多く再配置される（この場合 1 段目が 4 個，2 段目が 3 個）．この選択手法は以降 2HP と表記する．

3.2.3　RailDragger

上記 2 手法においては，目標ターゲットが存在している方向に向けて直接指を傾けることで選択動作を行っていたが，この手法では LinearDragger [11] や 2D-Dragger [12] を参考に，上下方向のドラッグ操作によって選択動作を行う．RailDragger はタッチされた位置から 45° 上（右端）のターゲットが最初に選択状態となっており，タッチした座標から 100 px/（ターゲット数）だけ下方向へドラッグすることで，1 ターゲット分だけ再配置されたターゲット群が時計回りに回転し，ターゲットの選択が可能となる（図 3 (c)）．つまり右端に近いターゲットを選ぶ場合は，あまりドラッグ動作は必要ないが，左端のターゲットを選ぶことになるほど，より長い距離をドラッグする必要があるという手法になっている．100 px 分以上のドラッグを行った場合には左端のターゲットが選択される．この選択手法は以降 RD と表記する．

3.3　実装

今回の実験・実装では，Apple の iPhone8（本体サイズ 138.4 mm × 67.3 mm × 7.3 mm，解像度 1,334 px × 750 px，画面サイズ 4.7 インチ（104 mm × 59 mm），OS：iOS13.2）を用いて行った．各手法において，ターゲットを再配置する際に角度をつけずに提示した場合，右端のターゲットなどに対して画面の表示に指が重なり，画面が見えなくなる Occlusion 問題が発生すると考えられる．そのため，今回の実装では親指のタッチの角度を 45° 程度と想定し，展開の際に角度をつけることによって Occlusion 問題の影響を抑えることにした（**図 6**）．また再配置の際の半円の半径は，画面端からターゲットがはみだなさい，かつ，操作する指に被りにくいという 2 つの条件のもとで，3 手法すべてにおいて共通で 150 px とした．ポインティングタスク時に実験設定で想定されていない数のターゲットが再配置されることを避けるため，画面のどこをタッチしても設定されているすべてのターゲットが再配置されるようにした．またスマートフォンを左手で操作する場合には，角度を反転させてターゲットを再配置する．またポインティングタスク時の目標となるターゲットは，各選択手法で様々な位置のターゲットを選択させるために，再配置されたターゲッ

© 2021 Information Processing Society of Japan

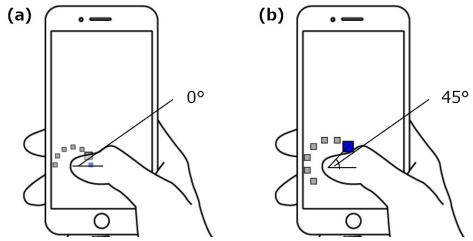

図 6 (a)：目的のターゲットが指によって隠れてしまう Occlusion 問題．(b)：再配置に角度をつけることによる Occlusion 問題の回避

Fig. 6 (a): Occlusion problem in which the target is hidden by the fingers. (b): Avoiding the Occlusion problem by adding an angle to the rearrangement.

トの中からランダムに決定される．

4. 評価実験

3 つの選択手法において，パフォーマンス測定のためにポインティングタスクを用いた実験を行う．実験全体にかかった時間は約 40 分程度であった．

4.1 実験参加者

実験参加者はふだんからスマートフォンを使用している大学生，大学院生 12 名（男性 9 名，女性 3 名，平均 22.0 歳）であった．実験参加者 12 名のうち 10 名が右手でスマートフォンを操作し，残り 2 人が左手でスマートフォンの操作を行った．また 1 日にスマートフォンを使用している時間は平均 3.6 時間（SD = 1.426）であり，スマートフォンの使用歴は平均 77.83 カ月（SD = 12.44）であった．

4.2 実験手順

操作説明や練習のために，実際のポインティングタスクでは用いられないパラメータでのポインティング練習ができるアプリを準備した（以降 PracticeApp と表記する）．実験参加者にはまずモバイルデバイスの使用状況についての事前アンケートに回答してもらった．続いて実験参加者に PracticeApp を用いて提案手法の操作方法を説明した．その後実験参加者にスマートフォンを渡し，1 分程度操作方法の確認をしてもらった．続いて内容が印刷された紙でタスクについての説明を行った．その後タスクを一定回数行ってもらい，タスクで用いた手法に関するアンケートへの記入をしてもらった．この流れを 3 手法分繰り返した．

すべての手法において，各タスクは画面の中央に表示された 2 cm × 2 cm の “Start” と印字されたボタンをタップすることによって実験参加者が開始する．スタートボタンがタップされると，画面上にフォルダをイメージした灰色のターゲットの集合が表示される．このターゲットの集合がタッチされて半円状に再配置されると，複数ターゲットの中にランダムに 1 つだけ青色のターゲットが表示され，

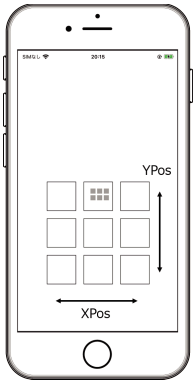

図 7 ポインティングタスクにおけるターゲットの出現位置

Fig. 7 The position at which the target appears in the pointing task.

それが今回のポインティングタスクにおける目標ターゲットとなる．実験参加者には青色のターゲットを選択するように説明した．選択が終了すると再びスタートボタンが表示され，次のタスクへと移行する．またタスクにおいてはなるべく青いターゲットが確実に拡大されたのを確認してから決定するように注意を促した．また画面上の領域すべてにおいて，ターゲットが再配置されるようになっている仕様を伝えたうえで，ターゲットの集合をタッチするように説明した．

4.3 実験デザイン

実験は参加者内実験計画を用いて実施した．独立変数は，手法（1HP，2HP，RD の 3 種類），XPos（親指の付け根から近い，画面の中央，親指の付け根から遠いの 3 種類），YPos（親指の付け根から近い，画面の中央，親指の付け根から遠いの 3 種類），ターゲットの選択個数（5 個，6 個，7 個，8 個，9 個，10 個の 6 種類）である（**図 7**）．ターゲット集合の出現位置に関しては，スマートフォンでの片手操作時における親指の届く範囲を調査した研究 [21], [22] を参考に，片手操作で親指の無理なく届く範囲で，図 7 に示した黒枠の中に表示した．具体的には XPos の中心座標は左のものから 130 px，306 px，482 px であり，YPos の中心座標は上のものから 620 px，796 px，972 px である．ターゲットの表示方法としては，複数のアプリがまとまったフォルダからアプリを 1 つ選んで起動する状況を考え，1 つあたりのターゲットサイズを 24 px × 24 px，ターゲット間の幅を 8 px に設定した．そのなかから正解となるターゲットを 1 つランダムで設定し，再配置された際に青色で表示するようにした．また左手でスマートフォンを操作した場合には，操作ログとして記録した XPos と，ターゲットを再配置させる方向を反転させた．

参加者ごとに独立変数の組合せを 2 回ずつ行ったので，1 人あたりのタスクの数は $3 \times 3 \times 3 \times 6 \times 2 = 324$ 回，全データ数は $324 \times 12 = 3{,}888$ データとなる．そのうち指をすぐ

© 2021 Information Processing Society of Japan

離してしまい，選択動作を行わずに次のタスクへと移行してしまった 28 データを取り除いた 3,860 データを分析に使用した．従属変数としてポインティングにかかった時間を選択終了時間，ポインティングが成功した割合を選択精度として記録した．選択終了時間はスタートボタンをタップしてから，指を離してターゲットの選択を完了するまでの時間とした．選択精度に関しては，タスクにおいて正解となる青いターゲットを選択できたかどうかを記録した．

またタスク終了後に自由記述のアンケートと System Usability Scale（SUS）[23] に基づくアンケートを行った．すべてのタスク・アンケートの終了後，各手法について気づいた点と，参加者自身の好みによる 3 手法の順位付けをインタビューで尋ねた．ポインティングタスクを行う手法の順番についてはラテン格子法によって決定した．

5.　実験結果

選択時間と精度の 2 つの従属変数に関して 4 要因分散分析を行った．多重比較には Holm の方法を用いた．また SUS について，平均スコアと各質問項目に関して Friedman 検定を行い，多重比較の際の有意水準の補正には Holm 法を用いた．本稿でのグラフのエラーバーはすべて標準誤差である．

5.1　選択時間

選択時間に関して単純主効果の手法（$F_{2,22} = 14.40$, $p < 0.001$），XPos（$F_{2,22} = 8.84$, $p < 0.01$），YPos（$F_{2,22} = 4.28, p < 0.05$），選択ターゲット数（$F_{5,55} = 26.53$, $p < 0.001$）について有意差が確認された．また 1 次の交互作用として手法 × XPos（$F_{4,44} = 4.35$, $p < 0.01$），手法 × YPos（$F_{4,44} = 2.97$, $p < 0.05$），手法 × 選択ターゲット数（$F_{10,110} = 3.09$, $p < 0.01$）について有意差が確認された．1HP と 2HP の 2 手法は XPos に有意差があり（1HP（$F_{2,22} = 5.73$, $p < 0.01$），2HP（$F_{2,22} = 8.61$, $p < 0.01$）），すべての手法は選択ターゲット数に有意差があった（1HP（$F_{5,55} = 17.48, p < 0.001$），2HP（$F_{5,55} = 7.75, p < 0.001$），RD（$F_{5,55} = 4.98$, $p < 0.001$））．

続いて XPos と YPos の 2 要因について，これらの組合せ 9 通りを 1 つの要因（出現位置）として扱い分散分析を行った．その結果，出現位置（$F_{8,88} = 5.7014$, $p < 0.001$）について有意差が確認された．また 1 次の交互作用として手法 × 出現位置（$F_{16,176} = 2.7376$, $p < 0.001$）について有意差が確認された．1 次の交互作用についての多重検定を行ったところ，2HP のみにおいて中央のマスと右下のマスに有意差（$p < 0.05$）が，中央から 1 つ左のマスと右下のマスに有意差（$p < 0.05$）が確認された．

各手法ごとの平均選択時間は 1HP が 1,740.95 ms，2HP が 1,874.75 ms，RD が 1,551.09 ms であった．選択ターゲット数と手法の組合せに対する選択時間を**図 8** に示す．また，各出現位置に対する各手法の平均選択時間を**表 1** に示す．この表の項目の値は図 7 に示した出現位置に対応付けられており，表内の距離については（XPos，YPos）というようにパラメータに対応している．

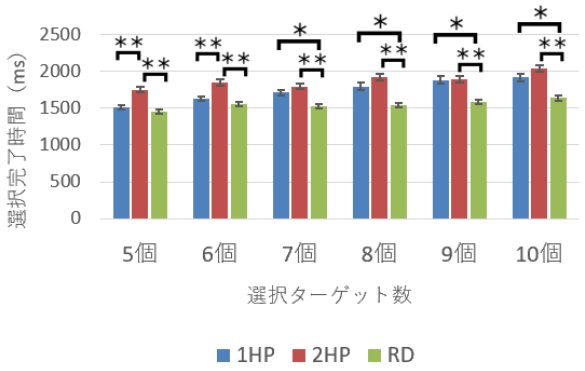

図 8　手法とターゲット数の組合せに対する選択時間（有意差：$*p < 0.05$，$**p < 0.01$）

Fig. 8　Selection time for the combination of method and number of targets (significant difference: $*p < 0.05$, $**p < 0.01$)

表 1　ターゲットの出現位置ごとの平均選択時間（ms）

Table 1　Average selection time (ms) per target appearance position.

（遠い，遠い）	（中央，遠い）	（近い，遠い）
1HP：1,879.03	1HP：1,668.13	1HP：1,795.24
2HP：1,935.75	2HP：1,873.75	2HP：1,922.69
RD：1,554.16	RD：1,531.44	RD：1,529.56
（遠い，中央）	（中央，中央）	（近い，中央）
1HP：1,743.08	1HP：1,680.20	1HP：1,785.08
2HP：1,705.42	2HP：1,730.61	2HP：1,955.87
RD：1,544.94	RD：1,489.64	RD：1,574.26
（遠い，近い）	（中央，近い）	（近い，近い）
1HP：1,792.87	1HP：1,642.81	1HP：1,679.22
2HP：1,830.84	2HP：1,882.45	2HP：2,036.85
RD：1,572.03	RD：1,524.18	RD：1,639.92

1HP における，正解ターゲットが提示された角度ごとの平均選択時間について，正解ターゲットの提示角度を独立変数とした一要因分散分析を行った．正解ターゲットの提示角度とは，図 6 (b) のように，右親指で操作を行った場合に，右端のターゲットが 45°，左端のターゲットが 225° の位置となるような角度であり，5 個から 10 個のターゲット数において全 29 通りの角度が存在した．分析の結果，単純主効果の提示角度（$F_{28,308} = 4.7124$, $p < 0.001$）に有意差が確認された．Holm の方法による多重比較では，45° と 67.5°，45° と 135°，45° と 165° の間に有意差が確認された（$p < 0.05$）．

5.2　精度

本研究での選択精度の値に関してはどの程度タスクに

© 2021 Information Processing Society of Japan

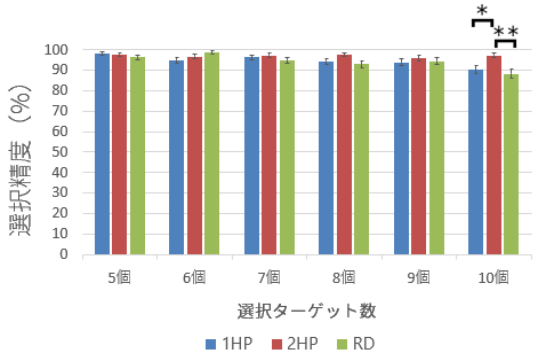

図 9　手法とターゲット数の組合せに対する精度（有意差：$*p < 0.05$, $**p < 0.01$）

Fig. 9　Accuracy for the combination of method and number of targets (significant difference: $*p < 0.05$, $**p < 0.01$)

成功したかを示しているため，数値が 100%に近いほど高い精度での選択ができていることとなる．精度に関しては単純主効果の手法（$F_{2,22} = 5.99$，$p < 0.01$），選択ターゲット数（$F_{5,55} = 5.73$，$p < 0.001$）について有意差が確認された．1 次の交互作用として手法 × 選択ターゲット数（$F_{10,110} = 1.81$，$p < 0.1$），XPos × YPos（$F_{4,44} = 2.2$，$p < 0.1$）について有意差が確認された．2 次の交互作用として手法 × YPos × 選択ターゲット数（$F_{20,220} = 1.56$，$p < 0.1$），XPos × YPos × 選択ターゲット数（$F_{20,220} = 1.52$，$p < 0.1$）について有意差が確認された．ターゲット数 10 個は手法に有意差が確認された（$F_{2,22} = 6.44$，$p < 0.01$）．また RD が選択ターゲット数 6 個と 10 個のときに有意差が確認された（$p < 0.05$）のみで，それ以外には手法と選択ターゲット数の有意差は確認されなかった．

続いて XPos と YPos の 2 要因について，これらの組合せ 9 通りを 1 つの要因（出現位置）として扱い分散分析を行った．しかし手法と出現位置の間に有意差は確認されなかった（$p > 0.05$）．

各手法ごとの平均精度は 1HP が 94.6%，2HP が 97.0%，RD が 94.3%であった．手法と選択ターゲット数の組合せに対する精度を**図 9** に示す．また，各出現位置に対する各手法の平均精度を**表 2** に示す．この表の項目の値は図 7 に示した出現位置に対応付けられており，表内の距離については（XPos，YPos）というようにパラメータに対応している．

精度についても，選択時間と同様に 1HP における正解ターゲットの提示角度に関して，一要因分散分析を行った．単純主効果の提示角度（$F_{28,308} = 2.0382$，$p < 0.05$）に有意差は確認されたものの，多重比較では角度間に有意差は見られなかった（$p > 0.05$）．

5.3　ユーザビリティ

SUS は 5 段階のユーザビリティについてリッカート尺度の質問 10 問で構成されており，最終的に 100 点満点のスコアを求めることができる．SUS の平均スコアはそれぞれ 1HP が 74.38，2HP が 70.83，RD が 80.63 であった．平均スコアについて，有意差が確認された（$p < 0.05$）が，多重比較では有意差は確認されなかった．また，各質問項目に対して同様の検定を行ったところ，Q2（$p < 0.01$），Q5（$p < 0.05$），Q6（$p < 0.05$），Q7（$p < 0.01$），Q8（$p < 0.05$），Q10（$p < 0.05$）の項目に対して有意差が確認された．多重比較の結果，1HP と 2HP の間で Q2，Q7，Q8 の項目について有意差が認められ（$p < 0.05$），2HP と RD の間で Q2，Q7 の項目について有意差が認められた（$p < 0.05$）．SUS の結果を**図 10** に示す．

表 2　ターゲットの出現位置ごとの平均精度（%）

Table 2　Average accuracy (%) per target appearance position.

（遠い，遠い）	（中央，遠い）	（近い，遠い）
1HP：90.3	1HP：93.7	1HP：96.5
2HP：96.5	2HP：97.2	2HP：96.5
RD：91.6	RD：95.1	RD：95.1
（遠い，中央）	（中央，中央）	（近い，中央）
1HP：96.5	1HP：92.1	1HP：96.5
2HP：96.5	2HP：97.9	2HP：96.5
RD：95.1	RD：94.4	RD：95.8
（遠い，近い）	（中央，近い）	（近い，近い）
1HP：95.8	1HP：95.8	1HP：94.4
2HP：99.3	2HP：97.9	2HP：95.1
RD：95.1	RD：91.0	RD：95.1

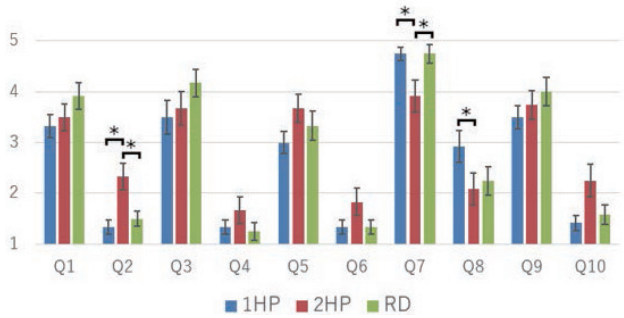

図 10　SUS の結果：奇数番号の項目は点数が高いほうが良く，偶数番号は点数が低いほうが良い（有意差：$*p < 0.05$）

Fig. 10　SUS results: Odd-numbered questions are better with higher scores, and even-numbered questions are better with lower scores (significant difference: $*p < 0.05$).

5.4　インタビュー結果

インタビューで実験参加者に各手法における好みの順位を尋ねたところ，実験参加者 12 名中 9 名が RD を 1 位とし，2 名が 2HP を 1 位，1 名が 1HP を 1 位とした．また RD を 1 位にした実験参加者は 5 名が 2HP を 2 位に，4 名が 1HP を 2 位とした．2HP を 1 位とした参加者はどちらも 1HP を 2 位としていた．1HP を 1 位とした参加者は RD を 2 位としていた．

© 2021 Information Processing Society of Japan

続いて自由記述のアンケートについて結果を記述する．1HP と RD に関しては，ターゲット数が多くなった際のエラーの起きやすさや微調整の難しさが多く指摘されていた．2HP では「多量のターゲットが見やすくなった」という意見があった一方で，「選択ターゲット数が奇数のときにはどちらの段に目的のターゲットがあるのか分かりにくい」といった意見があった．他にも「押し込みに慣れれば使いやすそう」などといった押下に関する意見が多くあげられた．RD では「ドラッグによる上下運動のみで選択ができるため楽であった」といった意見があった．

6. 考察

本稿では，スマートフォンにおいて半円状に再配置した複数ターゲットに対する選択手法として 1HP，2HP，RD の 3 手法を提案し，各手法の評価を行うためにポインティングタスクを行った．その結果，以下の点が明らかになった．

(1) それぞれの平均選択終了時間は RD（1,551.09 ms），1HP（1,740.95 ms），2HP（1,874.75 ms）であった．
(2) すべての手法において，ターゲット選択数が多いほど選択時間がかかっていた．
(3) 1HP と 2HP は表示場所に関して指に近い XPos，指から遠い XPos では中央の XPos に比べて選択時間がかかっていた．
(4) それぞれの平均選択精度は 2HP（97.0%），1HP（94.6%），RD（94.3%）であった．
(5) RD においてターゲット数 10 個と 6 個のときにのみ精度に差が見られたが，他の手法 × 選択ターゲット数の組合せに関しては精度の差が見られなかった．
(6) SUS の平均スコアは 1HP が 74.38，2HP が 70.83，RD が 80.63 であった．
(7) 実験参加者 12 名中 9 名が RD を 1 番好みの手法とした．RD を 1 位とした参加者の中で 2 位は 1HP が 4 人，2HP が 5 人であった．

6.1 選択時間について

すべての手法において選択ターゲット数に応じて選択時間が変わっており，選択ターゲット数が 7 個未満では RD と 1HP が早かったが，7 個以上の数になると RD が他 2 つの手法よりも素早く選択できることが示された．1HP と 2HP で選択ジェスチャに用いた指を傾けるという動作が，ふだんスマートフォンを使う際にあまり馴染みのない動作である一方で，RD でのドラッグ動作はふだんから使用される動作であるために素早い選択が可能であったと考えられる．しかし，指を傾けるという操作も特別複雑なものではないので，ユーザの慣れによって 1HP と 2HP の選択時間が改善されることも十分可能性として残されている．

2HP では押し込み動作という 3 次元の動作を要求したことと，現時点で押し込み動作が製品に搭載されているものが少ない（iPhone6s から iPhoneXs までのスマートフォンで 3DTouch [20] として利用されている）ために，あまり押し込むという操作に慣れている参加者が少なかったことが選択時間が多くかかった原因として考えられる．RD において選択ターゲット数における選択時間の有意差は 5 個と 10 個のときのみに見られた．そのため，RD は手軽に素早く選択したい場合に有用な手法であると考えられる．

2HP のみにおいて画面の中央よりも画面の端のほうが選択時間が有意に遅くなっていた．これはそもそも操作がしにくい場所において，画面を押下するという身体的負荷が高い動作を行わせたことと，現実装の 45° 傾けるという対策だけでは画面端の Occlusion 問題を回避しきれず，目標ターゲットがどの位置に再配置されているかの確認動作が必要だったということによるものだと考察している．しかし 1HP と RD の選択時間においては，有意差が確認されなかったことから位置による影響を受けにくいと考えられ，片手把持での無理のない範囲であれば素早く選択できると考えられる．

正解ターゲットの提示角度について，角度間での有意差が多少見られた．しかし，29 通りの角度の組合せ 406 通りのうち 3 通りでしか有意差が見られなかったことから，ターゲットの提示角度の違いによる選択時間への影響は非常に小さいと考えられる．有意差が見られた 45° という角度は，実装でも述べたように選択のしやすさのため選択可能な角度範囲を大きく広げてあるため，素早い選択が可能であり，そのことが結果に多少影響したのだと考えられる．

6.2 精度について

平均精度は 3 手法のうち 2HP が最も高かった．これに関しては選択ターゲットを 2 段に分けることによって，1 段あたりの候補数を減らした効果が表れたのだと考えられる．2HP ではターゲット数による精度の違いは見られなかったため，ターゲット数が多くなっても確実に選択できる手法であるといえる．また選択精度が 95%程度でユーザが無理なく選択できるとすると，1HP ではターゲット数 8 個（精度 94.37%）まで選択できることになり，表示方法が違うだけで選択動作は同じである 2HP に関しては，最大 16 個までのターゲットを無理なく選択できるといえる．また選択ターゲット数が増えるごとに 1HP と RD では精度が低くなっていたが，2HP においてはターゲット数によらずほぼ 96%程度の非常に高精度な選択ができていた．この結果からも 2HP は多量のターゲットに強い選択手法だということができる．1HP と RD についても，今回設定したターゲット数では精度差はほぼなかったため，丁寧な選択を心がければ，10 個程度の比較的多めなターゲットでも選択は可能であると考えられる．ただし数が多くなるほど目標ターゲットを選ぶための微調整の動作が多くなり，選択に時間がかかりやすいというのと，再配置したターゲッ

© 2021 Information Processing Society of Japan

トが隙間なく密集してしまい見やすさが失われることが予想されるため，11 個以上の多量のターゲット数に関しては再度検討が必要である．

またターゲットの出現位置に関して分析を行ったところ，どの手法・位置においても有意差は見られなかった．これにより，今回提案した手法では片手把持した際に若干指が届きにくい位置であっても，正確にターゲットを選択できると考えられる．

正解ターゲットの提示角度について，角度間での有意差はいっさい見られなかった．そのため，指を傾ける角度の違いによるパフォーマンスへの影響はほぼないと考えられる．

6.3 ユーザビリティについて

平均スコアについて，RD が他 2 手法よりも高めに出ていたことから，RD はユーザビリティにやや優れている手法であると考えられる．また，各質問項目については Q2 と Q7 において 2HP が他 2 手法よりも有意にスコアが低くなっていた．これらの質問項目は操作方法の理解に関するものであるので，2HP で用いた押下の動作が手法の理解の妨げになったのではないかと考えている．Q8 においては 1HP と 2HP において有意差が確認されており，1HP の方が 2HP よりも選択しにくいといえる．この結果は選択ターゲット数が多くなったときの 1HP の微調整の難しさを反映したものであると考えられる．

6.4 アンケート・インタビューについて

1HP では自由記述のアンケートにおいて，数が多いと微調整が難しく，意図したターゲットとずれたターゲットを選択してしまったという意見が多くあげられた．そのため 7 個以上の選択では RD の方が速い手法であるということと，指を傾ける角度の微調整の難しさを考慮すると，7 個程度までの選択までにしか適用しにくいといえる．しかし 1HP ではどの位置のターゲットを選択する場合でも，親指の移動量はほとんど変わらないため，非常に少ない（3〜4 個程度など）ターゲット数においては素早い選択手法である可能性がある．

2HP では，奇数のときの提示の仕方が 1 段目と 2 段目の区別がつきにくく，分かりにくいといった声が多くあげられた（**図 11** (a)）．そのため，2 段目の提示方法を不自然のないようなデザインに変える必要があると考えられる（図 11 (b)）．また「思ったより強く押し込まないといけなかった」「傾けただけで押し込み判定にされた」などといった意見があり，どの程度の圧力を押し込みと思うかは個人差が大きいため，押し込みの閾値のキャリブレーションが必要であることが分かった．ターゲットが見やすかったという意見もあり，ターゲット数が奇数のときの問題は残されてはいるものの，2 段にわけて提示したことによる効果があったのではないかと考えている．

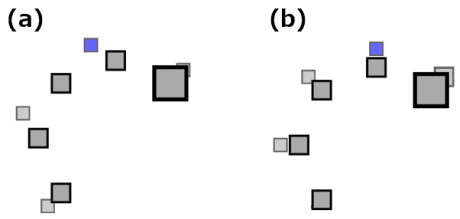

図 11 (a)：選択ターゲット数が奇数のときの 2HP．(b)：2 段目のターゲットが必ず 1 段目の後ろに存在するように調整した 2HP

Fig. 11 (a): 2HP when the number of selected targets is odd. (b): 2HP adjusted so that the second target is always behind the first target.

RD では円状のターゲットを回転させているために，目的のターゲットを通り越してドラッグした際に，目的のターゲットが指の下に入り込んでしまって見にくいといった意見があった．またドラッグするだけなら半円状に配置する必要はないのではないか，という意見もあり，直線状にターゲットを再配置するなどの他のデザインパターンについても検討の余地が残されている．

すべての手法において指を離すことで選択を完了としたことにより，特に 1HP と RD において指を離した際に選択ターゲットがずれてしまったという意見が多くあげられた．これはタッチしている地点が前のターゲットと次のターゲットとの閾値周辺で，指を離した際の微小な動きによってターゲットが切り替わってしまうことによるものと考えている．対策として指を傾けている方向を矢印などで画面に表示したり，指が離された位置より少し前の位置を最終的な入力として扱ったりすることが考えられる．

選択方法を順位付けしてもらった結果では，実験参加者 12 名中 9 名が RD を 1 位としており，RD が最もユーザに受け入れられやすい選択手法であるといえる．また 2 位を 1HP か 2HP にするかは半分に分かれており，2HP で用いた押し込み動作に好感を持てたかどうかで順位が変動していると見られる．

6.5 既存手法との差異について

提案手法の実用的な効果を調べるために，iOS におけるフォルダ機能のような，階層型選択における選択時間などの研究の調査を行った．その結果，グリッド上に並べられたアイコン（フォルダ）から選択を行うことを研究したものは存在したものの [24]，フォルダを選択後，中身を選択することに関する研究を発見することはできなかった．そこで，提案手法に近い既存手法として，RegionalSliding [8]（以降 RS と表記）との比較を述べる．RS は，タッチされた指の周りの最大 8 個のターゲットを，タッチ地点からずらした位置に円状メニューを作成し，指をターゲットの方向

© 2021 Information Processing Society of Japan

へスライドさせて選択を行う手法である．RS は Shift [14] や TapTap [25] と比べ，カーソルやタップなどで直接ターゲットを選ぶ必要がないために，高速かつ高精度で動作することが示されている．

選択時間について，RS は，論文の実験データによると平均選択時間は 2,000 ms 程度であり，提案手法は最も速い手法である RD が 1,500 ms 程度であった．そのため，提案手法は既存手法よりも高速に動作する可能性が見込まれる．RS は指から離れた位置に円状メニューを表示するために，円状メニューの配置場所とメニュー内での目的ターゲットの配置場所の 2 つを確認しなければならない手法である．対して，本手法は指の周りに再配置するため，ターゲットの配置場所のみを確認すればよい手法である．そのため選択時間の短縮に関しては，視認する箇所を減らした工夫の効果が表れたと考えられる．

また，精度についてであるが，RS の論文中の実験では最大 8 個のターゲット選択タスクを行っており，平均の精度は 90%程度であった．対して本手法では，10 個のターゲット数に対して 2HP では 97%，他 2 手法も 8 個のターゲットに対しては 94%程度の精度で選択が可能である．これは RS が 360° 全方向に指をスライドさせなければならないのに対し，提案手法は半円状に再配置をすることによって，指を動かしやすい範囲に操作を限定したうえで，最小限の傾け動作や上下のドラッグ動作で選択を行ったことが要因として考えられる．

また RS では，選択ターゲット候補に同じ名前の項目があった際に，円状メニューを色分けして表示し，メニューの隣にターゲットと色の対応を表示することで区別をつける．そのため，手法を利用するための画面の占有領域が大きくなってしまう．これに対して提案手法では，ターゲットそのものを移動させるため，再配置の際のターゲットの移動スピードを調整することで，選択したいターゲットがどこに移動したかを視認させることができる．これによって同じ項目があったとしても，再配置に必要となる最小限の画面占有のみで追加の情報なしにターゲット選択を可能にできると考えている．

ただし，以上の考察はすべてデータ上での比較となるので，今後正確な評価を行うために，実験条件をそろえた実験を行うことを考えている．

7. 現実装の課題

今回の実装のように再配置の際に 45° の角度をつけたのみでは，Occlusion 問題が解決しきれないことが明らかになったため，Occlusion 問題の起こらないターゲット提示のために，スマートフォンのタッチ姿勢推定の研究 [26], [27] などを組み合わせることにより，それに応じた再配置の半径や角度の決定が必須である．再配置時の課題としてもう 1 つあげられるのが，画面端におけるターゲットの提示方法である．現手法では，指の向いている方向にターゲットを再配置するため，たとえば右手操作で画面の左端でのターゲット選択を行うと，再配置されたターゲットが画面外に出てしまい，選択が不可能になってしまう．今回の実験ではターゲットの出現する場所を固定し，それに合わせた再配置半径を決定していたため，ターゲットは画面端にはみ出していない．しかし実際のスマートフォンでは画面上すべての領域において操作を行えるため，提示方法の工夫などをしてこの問題を解決しなければならない．

また現時点でキャンセル動作が定義されておらず，画面をタッチしたら何かしらのターゲットを選択をする必要があり，実際の使用を想定すると不便な点がある．この問題を解決するために選択手法で用いていないジェスチャを別に定義するか，Wacharamanotham ら [28] のように半円の端にキャンセル用ターゲットを配置するなどの実装が必要となると考えられる．

また今回の実装ではターゲットを半円状に再配置した際に，選択可能なターゲットを拡大し黒枠で囲うことで選択可能であることを示しているが，実際の使用を想定した場合，ターゲットのデザインによっては背景と同化してしまい，選択可能であることが分かりにくくなることが考えられる．

8. 応用例

実験結果や提案手法の特徴を考えて，検討可能な 2 種類の応用例について述べる．

関連研究で触れたような小さいかつ密集したターゲットについても，本研究の提案手法を適用可能であると考えられる．小さいかつ密集したターゲットに対して，目的のターゲットを直接のタップのみで選択することは難しいという報告 [29] があり，本手法を用いることで選択を容易にすることが可能である．その場合本手法ならではの利点として，ターゲットを整列して提示できるという点があり，タッチされた地点に近いターゲットを目的のターゲットと仮定して選択のしやすい位置に配置することで，素早いかつ精度の高い選択ができる．たとえば RD では最初から右端のターゲットが選択されている仕様を利用して，タッチされた座標に最も近いターゲットを右端に配置することで，目的のターゲットが選択されていることを確認してすぐ指を離すだけで選択が完了する．

また，はじめにで述べたような iOS や Android におけるフォルダ選択に本手法を適用することで，1 回のタッチかつ連続的な動作のみで，使用したいアプリを選ぶことができると考えている．現在の iOS におけるデフォルトの UI では，フォルダアイコンをタップして画面中央に一度に提示されるアプリは 9 個までで，それ以上のアプリ数になるとフォルダのページ数が増える．選択対象となるアプリが別ページに存在する場合，スワイプ動作によってペー

© 2021 Information Processing Society of Japan

ジを移動させ目的のアプリのアイコンをタップする必要がある．このようなアプリ数が多くなったフォルダについても，提案手法では 9 個以上の比較的多めのターゲットに対しても適用可能であるため，より選択が容易になると考えられる．

ただし，上記のように本手法を現行の OS のフォルダ機能に単純に実装できるとは限らない．フォルダ操作以外の諸機能との競合については検討が必要である．

9. まとめ

本研究ではスマートフォンの片手操作時のターゲット選択において，選択可能なターゲット候補を指に近い位置に半円状再配置することで，最小限の親指操作でターゲット選択を可能にする手法を提案した．具体的には One Half-Pie（1HP），Two Half-Pie（2HP），RailDragger（RD）の 3 手法を実装・評価した．実験の結果から，RD が最もユーザに受け入れられやすく，短時間での選択が可能であることが分かった．

参考文献

[1] Karlson, A.K., Bederson, B.B. and Contreras-Vidal, J.L.: Studies in One-handed Mobile Design: Habit, Desire and Agility, *Proc. 4th ERCIM Workshop User Interfaces All* (*UI4ALL*), pp.1–10, Citeseer (2006).

[2] Karlson, A.K., Bederson, B.B. and Contreras-Vidal, J.L.: Understanding One-handed Use of Mobile Devices, *Handbook of Research on User Interface Design and Evaluation for Mobile Technology*, pp.86–101, IGI Global (2008).

[3] Boring, S., Ledo, D., Xiang “Anthony” Chen, Marquardt, N., Tang, A., Greenberg, S.: The Fat Thumb: Using the Thumb’s Contact Size for Single-Handed Mobile Interaction, *Proc. 14th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, pp.39–48, ACM (2012).

[4] Eardley, R., Roudaut, A., Gill, S. and Thompson, S.J.: Understanding Grip Shifts: How Form Factors Impact Hand Movements on Mobile Phones, *Proc. 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp.4680–4691, ACM (2017).

[5] Eardley, R., Roudaut, A., Gill, S. and Thompson, S.J.: Investigating How Smartphone Movement is Affected by Body Posture, *Proc. 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, Association for Computing Machinery (2018).

[6] Findlater, L., Jansen, A., Shinohara, K., Dixon, M., Kamb, P., Rakita, J. and Wobbrock, J.O.: Enhanced Area Cursors: Reducing Fine Pointing Demands for People with Motor Impairments, *Proc. UIST ’10*, pp.153–162, ACM (2010).

[7] Xu, W., Yu, C. and Shi, Y.: RegionalSliding: Enhancing Target Selection on Touchscreen-Based Mobile Devices, *CHI ’11 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, pp.1261–1266, ACM (2011).

[8] Xu, W., Yu, C., Liu, J. and Shi, Y.: RegionalSliding: Facilitating small target selection with marking menu for one-handed thumb use on touchscreen-based mobile devices, *Pervasive and Mobile Computing*, Vol.17, pp.63–78 (2015).

[9] Gunn, T.J., Zhang, H., Mak, E. and Irani, P.: An Evaluation of One-Handed Techniques for Multiple-Target Selection, *CHI ’09 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, pp.4189–4194, ACM (2009).

[10] Yatani, K., Partridge, K., Bern, M. and Newman, M.W.: Escape: A Target Selection Technique Using Visually-Cued Gestures, *Proc. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp.285–294, ACM (2008).

[11] Au, O.K.-C., Su, X. and Lau, R.: LinearDragger: A Linear Selector for One-Finger Target Acquisition, *CHI ’14 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, pp.487–490, ACM (2014).

[12] Su, Q., Au, O.K.-C., Xu, P., Fu, H. and Tai, C.-L.: 2D-Dragger: Unified Touch-Based Target Acquisition with Constant Effective Width, *Proc. 18th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, pp.170–179, ACM (2016).

[13] Shibata, T., Afergan, D., Kong, D., Yuksel, B.F., MacKenzie, I.S. and Jacob, R.J.: DriftBoard: A Panning-Based Text Entry Technique for Ultra-Small Touchscreens, *Proc. 29th Annual Symposium on User Interface Software and Technology*, pp.575–582, ACM (2016).

[14] Vogel, D. and Baudisch, P.: Shift: A Technique for Operating Pen-Based Interfaces Using Touch, *Proc. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp.657–666, ACM (2007).

[15] Furumi, G., Sakamoto, D. and Igarashi, T.: SnapRail: A Tabletop User Interface Widget for Addressing Occlusion by Physical Objects, *Proc. 2012 ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces*, pp.193–196, ACM (2012).

[16] Brandl, P., Leitner, J., Seifried, T., Haller, M., Doray, B. and To, P.: Occlusion-Aware Menu Design for Digital Tabletops, *CHI ’09 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, pp.3223–3228, ACM (2009).

[17] Wang, F., Cao, X., Ren, X. and Irani, P.: Detecting and Leveraging Finger Orientation for Interaction with Direct-Touch Surfaces, *Proc. 22nd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, pp.23–32, ACM (2009).

[18] Wigdor, D., Forlines, C., Baudisch, P., Barnwell, J. and Shen, C.: Lucid Touch: A See-through Mobile Device, *UIST ’07: Proc. 20th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, pp.269–278 (2007).

[19] Corsten, C., Lahaye, M., Borchers, J. and Voelker, S.: ForceRay: Extending Thumb Reach via Force Input Stabilizes Device Grip for Mobile Touch Input, *Proc. 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, ACM (2019).

[20] Apple Inc., available from ⟨https://developer.apple.com/design/human-interface-guidelines/ios/user-interaction/3d-touch/⟩(accessed 2020-01-08).

[21] Le, H.V., Mayer, S., Bader, P. and Henze, N.: Fingers’ Range and Comfortable Area for One-Handed Smartphone Interaction Beyond the Touchscreen, *Proc. 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, ACM (2018).

[22] Bergstrom-Lehtovirta, J. and Oulasvirta, A.: Modeling the Functional Area of the Thumb on Mobile Touchscreen Surfaces, *Proc. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp.1991–2000, ACM (2014).

© 2021 Information Processing Society of Japan

[23] Brooke, J. et al.: SUS-A quick and dirty usability scale, *Usability Evaluation in Industry*, Vol.189, No.194, pp.4–7 (1996).
[24] Pfeuffer, K. and Li, Y.: Analysis and Modeling of Grid Performance on Touchscreen Mobile Devices, *Proc. 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp.1–12, ACM (2018).
[25] Roudaut, A., Huot, S. and Lecolinet, E.: TapTap and MagStick: Improving One-Handed Target Acquisition on Small Touch-Screens, *Proc. Working Conference on Advanced Visual Interfaces*, pp.146–153, ACM (2008).
[26] Xiao, R., Schwarz, J. and Harrison, C.: Estimating 3D Finger Angle on Commodity Touchscreens, *Proc. 2015 International Conference on Interactive Tabletops & Surfaces*, pp.47–50, ACM (2015).
[27] Mayer, S., Le, H.V. and Henze, N.: Estimating the Finger Orientation on Capacitive Touchscreens Using Convolutional Neural Networks, *Proc. 2017 ACM International Conference on Interactive Surfaces and Spaces*, pp.220–229, ACM (2017).
[28] Wacharamanotham, C., Kehrig, D., Mertens, A., Schlick, C. and Borchers, J.: Designing a Touchscreen Web Browser for People with Tremor, *Workshop on Mobile Accessibility, CHI2013*, Vol.13 (2013).
[29] Yamanaka, S.: Effect of Gaps with Penal Distractors Imposing Time Penalty in Touch-Pointing Tasks, *Proc. 20th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, ACM (2018).

秋葉 翔太

北海道大学大学院情報科学院.

崔 明根

北海道大学大学院情報科学院.

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）でインターン，東京大学で日本学術振興会特別研究員 PD，JST ERATO 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．本会シニア会員．

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，認知科学会，ACM 各会員．本会シニア会員．

© 2021 Information Processing Society of Japan